



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102 + 678 PADA RUAS JALAN TOL SOLO - KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN

MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ
NRP. 3114 030 161

DENI MAULANA
NRP. 3114 030 162

Dosen Pembimbing I
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS
NIP 19600105 198603 1 003

Dosen Pembimbing II
Ir. Chomaedhi, CES. Geo
NIP 19550319 198403 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102 + 678 PADA RUAS JALAN TOL SOLO - KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN

MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ
NRP. 3114 030 161

DENI MAULANA
NRP. 3114 030 162

Dosen Pembimbing I
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS
NIP 19600105 198603 1 003

Dosen Pembimbing II
Ir. Chomaedhi, CES. Geo
NIP 19550319 198403 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT APPLIED - RC 145501

**STRUCTURE DESIGN MODIFICATION OF
KARTOHARJO BRIDGE STA 102 + 678 ON
THE SEGMENT OF TOL SOLO - KERTOSONO
HIGHWAY PACKAGE NK1
MAGETAN DISTRICT**

MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ
NRP. 3114 030 161

DENI MAULANA
NRP. 3114 030 162

FINAL PROJECT SUPERVISOR I
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS
NIP 19600105198603 1 003

FINAL PROJECT SUPERVISOR II
Ir. Chomaedhi, CES. Geo
NIP 19550319198403 1 001

CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

“Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartoharjo STA
102+678 Pada Ruas Jalan Tol Solo - Kertosono Paket NK1
Kabupaten Magetan”

Surabaya, 26 Juli 2017

Disusun Oleh :

MAHASISWA I

MAHASISWA II



MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ

DENI MAULANA

3114 030 161

3114 030 162

Disetujui Oleh :

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II



26 JUL 2017

Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS

Ir. CHOMAEDHI, CES. Geo

NIP : 19600105 198603 1 003

NIP : 19550319 198403 1 001



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 10 Juli 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartoharjo STA 102+ 678 pada Ruas Jalan Tol Solo - Kertosono Paket NK1 Kabupaten Magetan		
Nama Mahasiswa 1	Muhammad Difaa'ul Haq	NRP	3114030161
Nama Mahasiswa 2	Deni Maulana	NRP	3114030162
Dosen Pembimbing 1	Ir. Ibnu Pudji R, MS NIP 19600105 198603 1 003	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	Ir. Chomaedhi, CES. Geo NIP 19550319 198403 1 001	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<div><div>- Notasi tul. samping sofa, notasi jarak seleg, beban potongan dan simbol as, - Tulg. girder dibetulkan.</div></div>	<div>Ir. Ibnu Pudji R, MS NIP 19600105 198603 1 003</div>
<div><div>1. Penulangan korbel diperbaiki. 2. Format tabel yg. tak. jelas diperbaiki. 3. Bearing pad disesuaikan dengan kebutuhan</div></div>	<div> R. Buyung Anugraha A. ST MT Ir. Chomaedhi, CES. Geo NIP 19550319 198403 1 001</div>
<div><div>10 GAMBAR 13, 14, 16, 27</div></div>	<div> Ir. Agung Bp, M.Eng. PhD NIP 19620328 198803 1 001</div>
<div><div>• perbaikan Gambar • Gambar tambahan selain section pile samping</div></div>	<div> M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001</div>

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Ibnu Pudji R, MS NIP 19600105 198603 1 003	Ir. Chomaedhi, CES. Geo NIP 19550319 198403 1 001	Ir. Agung Bp, M.Eng. PhD NIP 19620328 198803 1 001	M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	Ir. Ibnu Pudji R, MS NIP 19600105 198603 1 003	Ir. Chomaedhi, CES. Geo NIP 19550319 198403 1 001



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Muhammad Difaa' Ul-Hag 2 Deni Maulana

NRP

: 1 3114030161 2 3114030162

Judul Tugas Akhir

: Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartoharjo
 STA 102 + 678 Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono, Magetan

Dosen Pembimbing

: Ir. Ibnu Pudji R., Ms. Ir. Chumaidhi, CFS, Geo.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	6/2 2017	Spring Constant, excel penempatan plat ke tumpuan elastomer.		<input checked="" type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> K
2	9/3 2017	- Approach Slab terlalu besar tidak perlu diperlihatkan - Semua Elemen harus melekat Semua		<input checked="" type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> K
3	23/3 2017	- Centering Pier Head - Dimensi Struktur kurang ideal. C Pier Head dll.		<input checked="" type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> K
4	5/4 2017	- Girder diletakkan diatas elastomer (SAP). - Divide plat (SAP).		<input checked="" type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> K
5	21/4 2017	- Dimensi Pier Head dirubah lagi - Menghilangkan bearing pada plat injak		<input checked="" type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> K

Ket.

:

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal

- parapet.



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

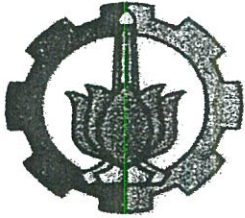
Nama : 1 Muhammad Difa' Ul-Hag 2 Deni Maylana.
NRP : 1 3114030161 2 3114030162
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartoharjo
 STA 102 + 678 Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono, Maget
Dosen Pembimbing : Ir. Ibnu Fudji R., Ms. Ir. Chomqedhi, CFS, Geo.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	6/2 2017	Spring Constant, excel Penempatan plat ke tumpuan elastomer.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	9/3 2017	- Approach Slab terlalu besar tidak perlu di perlihatkan - Semua Elemen harus melekat Semua		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	23/3 2017	- Centering Pier Head - Dimensi Struktur kurang ideal. C Pier Head dll).		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	5/4 2017	- Girder diletakkan diatas elastomer (SAP). - Divide plat (SAP).		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	21/4 2017	- Dimensi Pier Head dirubah lagi - Menghilangkan bearing pada plat injak		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

- parapet.



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Muhammad Difaa' Ul-Hag 2 Deni Maulana.

NRP

: 1 3114030161

2 3114030162.

Judul Tugas Akhir

: Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartsharjo
 STA 102+678 Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono, Magetan

Dosen Pembimbing

: Ir. Ibnu Pudji R., MS - Ir. Chomaedhi, CES. Geo.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
6.	10/5 2017.	- Peniadaan Wingwall				
		karena terlalu tinggi dari permukaan tanah				
		- Diganti dengan desain Secant pile bentuk U.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	24/5 2017.	- Penempatan posisi secant pile U di pier headnya.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Mencari kedalaman secant pile yang ideal.				
8.	2/6 2017	- menghilangkan nilai c (kekuatan geser tanah)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- memperbaiki dan merapikan rumus tekanan tanah aktif dan pasif.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- mencari gaya Σ yang ada dalam bored pile dan set kombinasi				
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

NRP

Judul Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

: 1 Muhammad Difaa 'Ul-Haq 2 Deni Maulana.
: 1 3114030161 2 3114030162
: Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartoharjo.
STA 102 + 678 Ruas Jalan tol Solo - Kertosono, Magetan
: Ir. Ibnu Puji Rahardjo, Ms Ir. Chamaedhi, CES. Geo.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
9.	26-06-2017	Pier Head masih disuruh untuk diperbaiki				
		- K _a Ctekanan tanah belum diperbaiki		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- faktor reduksi kekuatan ada yang salah input.				
		cari di SNI.				
10.	3-07-2017	Gambar Salah. 1. Plat Injak.		B	C	K
		2. Notasi tidak ada.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		3. As gambar paskan As struktur				
		4 Skala 1:1, 5 Satuan		B	C	K
		mm, 6 urugan dihilangkan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		ganti rigid.				
		- Desain terakhir SAP.				
		- Mengganti sudut geser tanah.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Merubah kedalaman terakhir bored pile				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket

B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

PROYEK AKHIR
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN
KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL
SOLO - KERTOSONO PAKET NK1
KABUPATEN MAGETAN

Nama Mahasiswa	1. Muhammad Difaa' Ul Haq 2. Deni Maulana
NRP	1. 3114 030 161 2. 3114 030 162
Jurusan	Teknik Infrastruktur Sipil–Fak. Vokasi–ITS
Dosen Pembimbing	1. Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS 2. Ir. Chomaedhi, CES. Geo

ABSTRAK

Jembatan Kartoharjo terletak pada ruas jalan tol Solo – Kertosono STA 102+678 dengan bentang total 43 meter dan lebar jembatan bentang tengah 25,2 meter. Penulis memodifikasi dengan menghilangkan fungsi Pile Cap dan menjadikan Pondasi sekaligus Pier Coloumn, dan menggunakan Secant Pile sebagai Dinding Penahan Tanah pada bagian Abutment

Jembatan Kartoharjo digunakan sebagai objek tugas akhir untuk memodifikasi desain struktur jembatan meliputi bangunan atas : Dimensi struktur plat lantai kendaraan beserta pengaman disisi tepid an pelebaran desain jembatan dari sebelumnya dengan acuan SNI-T-12-2004. Perhitungan bangunan bawah meliputi : Secant Pile, pilar, abutment, dan elastomer yang mengacu pada SNI-T-12-2005 dan perencanaan perletakan jembatan kementerian PU Pekerjaan Umum 2015 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI Gempa 2833-2013 (Jembatan)

Kata Kunci : Balok Girder, Secant Pile, Bored Pile, Abutment

THE FINAL PROJECT
STRUCTURE DESIGN MODIFICATION OF
KARTOHARJO BRIDGE STA 102 + 678 ON THE
SEGMENT OF TOL SOLO - KERTOSONO HIGHWAY
PACKAGE NK1 MAGETAN DISTRICT

Name : 1. Muhammad Difaa' Ul Haq
: 2. Deni Maulana
Registration Number : 1. 3114 030 161
: 2. 3114 030 162
Department : Civil Infrastructure Engineering –
Vocational Faculty - ITS
Supervisor : 1. Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS
: 2. Ir. Chomaedhi, CES. Geo

ABSTRACT

Kartoharjo Bridge is located on the road section of Solo – Kertosono STA 102+678 with 43 meters total lengths and 25,2 meters width in middle section. The Writers make some modification by losing the function of Pile Cap and becoming Foundation and Pier Column at once, and use a Secant Pile as Soil Wall Holder on part of Abutment

Kartoharjo Bridge is used as a Final Project Assignment by made some modification of the design structure of the bridge, such as Upper Structure (Floor plat structure, safety on edge side and widening the width of bridge from before) with guide from SNI-T-12-2004. Calculating of Bottom Structure (Secant Pile, abutment, and elastomer) which is referring on SNI-T-12-2005 and Bridge plotting plan by Kementerian PU Pekerjaan Umum 2015 and loading earthquake referring on SNI Gempa 2833-2013 (for Bridge)

Keywords : Girder Beam, Secant Pile, Bored Pile, Abutment

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartoharjo STA 102+678 Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Paket NK1 Kabupaten Magetan” dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini telah menjadi sebuah pelajaran dan pengalaman berharga bagi kami untuk meningkatkan kinerja kami.

Terwujudnya tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, serta bantuan dari semua pihak. Untuk itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya patut kami berikan kepada :

1. Orang tua, yang selalu membantu, baik secara moral maupun material.
2. Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS dan Ir. Chomaedhi, CES. Geo selaku dosen pembimbing kami.
3. Teman-teman mahasiswa dan semua pihak yang telah membantu & mendukung kami

Kami menyadari, bahwa dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari kesalahan-kesalahan. Oleh sebab itu, kami mengharapkan koreksi dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Surabaya, 26 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR GRAFIK	xxix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Maksud dan Tujuan	4
1.5 Manfaat Perencanaan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Dasar Teori Perancangan.....	7
2.1.1 Umum	8
2.1.2 Komponen Struktur Jembatan	8
2.1.3 Konsep dan Beberapa Aspek Dasar Perencanaan Jembatan	10

2.2	Bagian – Bagian Jembatan	13
2.2.1	Bangunan Atas.....	13
2.2.2	Bangunan Bawah.....	13
2.3	Pemilihan Perletakkan	14
2.4	Pembebanan.....	15
2.5	Perencanaan Bangunan Atas	38
2.5.1	Plat Lantai Kendaraan	38
2.5.2	Gelagar	39
2.5.3	Diafragma	54
2.5.4	Parapet Jembatan	55
2.5.5	Perletakan	55
2.6	Perencanaan Bangunan Bawah.....	60
2.6.1	Abutment	60
2.6.2	Pilar	64
2.6.3	Secant Pile (Dinding Bored Pile).....	66
2.6.4	Pondasi Bored Pile	68
BAB III METODOLOGI DESAIN.....		75
3.1	Studi Literatur.....	75
3.2	Uraian Metode.....	75

3.2.1	Pengumpulan Data	75
3.2.2	Kondisi Tanah.....	76
3.3	Preliminary Design.....	77
3.3.1	Material.....	78
3.3.2	Elastomer (Bearing Pad)	78
3.3.3	Konstanta Pegas (Spring Constant)	79
3.3.4	Perencanaan Pelat Lantai	81
3.3.5	Perencanaan Dimensi Gelagar	82
3.3.6	Perencanaan Dimensi Diafragma	83
3.4	Permodelan Struktur.....	84
3.5	Analisis Pembebanan.....	85
3.5.1	Beban Mati Sendiri (MS)	85
3.5.2	Beban Mati Tambahan (MA)	86
3.5.3	Beban Lajur “D” (TD).....	86
3.5.4	Beban Rem (TB).....	89
3.5.5	Beban Angin (EW)	90
3.5.6	Tekanan Tanah (TA)	91
3.5.7	Beban Gempa (EQ)	96
3.6	Kombinasi Pembebanan.....	99

3.7	Flowchart (Bagan Alir Perencanaan)	101
BAB IV ANALISA STRUKTUR BANGUNAN ATAS.....		107
4.1	Parapet Barrier	107
4.1.1	Data.....	107
4.1.2	Analisa beban parapet.....	107
4.1.3	Perhitungan gaya dalam	108
4.1.4	Material penulangan parapet	108
4.1.5	Penulangan utama.....	108
4.1.6	Penulangan bagi.....	110
4.2	Plat Lantai Kendaraan	111
4.2.1	Preliminary design.....	111
4.2.2	Analisa Gaya Dalam Plat 24 cm.....	111
4.2.3	Analisa Gaya Dalam Plat 40 cm.....	113
4.2.4	Kontrol Lendutan Plat 24 cm.....	116
4.2.5	Kontrol Lendutan Plat 40 cm.....	117
4.3	Perencanaan Balok Girder.....	119
4.3.1	Analisis Gaya Dalam.....	120
4.3.2	Kontrol Lendutan Girder	129
4.4	Perencanaan Diafragma	131

4.4.1	Analisis Gaya Dalam.....	131
4.4.2	Kontrol Lendutan Diafragma.....	136
4.5	Perletakan Elastomer.....	138
4.6	Kontrol Lendutan Jembatan	139
BAB V ANALISA STRUKTUR BANGUNAN BAWAH.....		141
5.1	Perencanaan Pilar	142
5.1.1	Plat Pier Head Pilar.....	143
5.1.2	Plat Korbel Pilar.....	147
5.1.3	Plat Longitudinal Stopper Pilar.....	151
5.2	Perencanaan Dinding Abutment.....	155
5.2.1	Plat Pier Head Abutment	156
5.2.2	Plat Stopper Abutment.....	160
5.2.3	Plat Capping Wingwall Secant Pile	164
5.2.4	Perencanaan Plat Injak.....	168
5.3	Perencanaan Pondasi (Bored Pile)	172
5.3.1	Daya dukung tanah melalui nilai N-SPT	174
5.3.2	Bored Pile Pilar Ø 1 m.....	176
5.3.3	Bored Pile Abutment Ø 1 m	181
5.3.4	Bored Pile Abutment Ø 1.5 m	185

5.3.5	Bored Pile Secant Pile Ø 0.6 m dan Ø 1 m.....	189
5.4	Perencanaan Secant Pile.....	194
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		197
6.1	Kesimpulan	197
6.2	Saran.....	199
BAB VII REVISI		201
7.1	Perhitungan Manual Balok Girder	201
7.1.1	Preliminary Design Girder Tengah.....	201
7.1.2	Analisa Pembebanan Girder Tengah	202
7.1.3	Perhitungan Gaya Dalam	204
7.1.4	Perhitungan Penulangan Pada Girder Tengah	218
7.1.5	Preliminary Design Girder Tepi.....	283
7.1.6	Analisa Pembebanan Girder Tepi	283
7.1.7	Perhitungan Gaya Dalam	286
7.1.8	Perhitungan Penulangan Pada Girder Tepi	300
7.2	Perencanaan Manual Elastomer	337
7.2.1	Preliminary Design Perletakan	337
7.2.2	Menentukan Beban dan Gerakan Terburuk	337
7.2.3	Tahap Perencanaan Dimensi Elastomer	340

7.2.4 Kontrol Perletakan Elastomer	342
DAFTAR PUSTAKA.....	349
LAMPIRAN	351

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Kab. Magetan.....	2
Gambar 1. 2 Kondisi Existing Jembatan Kartoharjo.....	2
Gambar 1. 3 Denah Jembatan.....	3
Gambar 2. 1 Ilustrasi Tampak Atas dan Tampak Samping Jembatan.....	9
Gambar 2. 2 Ilustrasi Potongan Melintang Jembatan.....	9
Gambar 2. 3 Proses Perencanaan.....	11
Gambar 2. 4 Perletakan Jembatan	14
Gambar 2. 5 Beban T dan D.....	16
Gambar 2. 6 Beban Truk Bergerak.....	17
Gambar 2. 7 penempatan panjang beban terbagi rata “D” dengan beban garis “D” arah memanjang.....	19
Gambar 2. 8 Penyebaran pembebanan pada arah melintang	20
Gambar 2. 9 posisi beban saat menghitung beban geser dan beban gesar.....	21
Gambar 2. 10 beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok	22
Gambar 2. 11 Luas ekuivalen untuk beban angin	25
Gambar 2. 12 Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun.....	27
Gambar 2. 13 Peta respon spektra percepatan 0.2 detik (SS) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun	28

Gambar 2. 14 Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S1) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun	28
Gambar 2. 15 Tekanan tanah tambahan	36
Gambar 2. 16 Tekanan tanah akibat gempa	36
Gambar 2. 171 Kontrol geser pons.....	38
Gambar 2. 187 Komponen Parapet Jembatan	55
Gambar 2. 19 Jarak minimum ujung Girder dengan tumpuan	65
Gambar 2. 20 Secant Pile	66
Gambar 2. 21 Pondasi Bored Pile.....	69
Gambar 2. 22 Jenis - jenis Bored Pile	70
Gambar 2. 23 Daya dukung ujung batas bored pile pada tanah pasiran (Reese &Wright)	71
Gambar 2. 24 Definisi Jarak s dalam Hitungan Efisiensi Tiang..	74
 Gambar 3. 1 Lead Rubber Bearing (LRB) (bridgestone catalogue)	 78
Gambar 3. 2 Bentuk LRB serta Kurva Cyclic Test untuk Shear Force vs Shear Displacement (Bridgestone Catalog)	79
Gambar 3. 3 Permodelan spring pada bored pile.....	81
Gambar 3. 4 Permodelan struktur Jembatan Kartoharjo desain menggunakan SAP2000	84
Gambar 3. 5 Elemen Struktural Jembatan	85
Gambar 3. 6 Beban parapet pada lantai jembatan	85
Gambar 3. 7 Beban air hujan pada lantai jembatan	86
Gambar 3. 8 Ilustrasi pembagian beban KEL dan UDL.....	87

Gambar 3. 9 Beban KEL 1 pada lantai jembatan	87
Gambar 3. 10 Beban KEL 2 pada lantai jembatan	88
Gambar 3. 11 Beban KEL 3 pada lantai jembatan	88
Gambar 3. 12 Beban UDL 1 pada lantai jembatan.....	88
Gambar 3. 13 Beban UDL 2 pada lantai jembatan.....	88
Gambar 3. 14 Beban UDL 3 pada lantai jembatan.....	88
Gambar 3. 15 Gaya rem per lajur 2,75 m	89
Gambar 3. 16 Beban rem pada lantai jembatan.....	89
Gambar 3. 17 Beban angin pada sisi samping jembatan	90
Gambar 3. 18 Grafik respon spektrum	98
Gambar 4. 1 Ilustrasi pembebanan pada parapet	107
Gambar 4. 2 Penulangan Parapet	110
Gambar 4. 3 Kontur momen plat 23 cm M11 (kiri) dan M22 (kanan)	111
Gambar 4. 4 Kontur momen plat 40 cm M11 (kiri) dan M22 (kanan)	114
Gambar 4. 5 Lendutan plat 24 cm oleh BTR	116
Gambar 4. 6 Lendutan plat 24 cm oleh BGT	117
Gambar 4. 7 Lendutan plat 40 cm oleh BTR	118
Gambar 4. 8 Lendutan plat 40 cm oleh BGT	118
Gambar 4. 9 Denah Balok Girder	120
Gambar 4. 10 Diagram gaya Aksial, Geser, Momen (dari atas)	121
Gambar 4. 11 Diagram gaya aksial pada keseluruhan girder	121
Gambar 4. 12 Diagram gaya geser pada girder	122

Gambar 4. 13 Diagram momen pada girder	122
Gambar 4. 14 Lendutan girder oleh BTR	129
Gambar 4. 15 Lendutan girder oleh BGT	130
Gambar 4. 16 Diagram gaya Aksial, Geser, Torsi, dan Momen (dari atas) pada diafragma seksi tengah	132
Gambar 4. 17 Diagram gaya aksial pada diafragma oleh BTR	133
Gambar 4. 18 Diagram gaya geser pada diafragma oleh BTR	133
Gambar 4. 19 Diagram gaya torsi pada diafragma oleh BTR	133
Gambar 4. 20 Diagram momen pada diafragma oleh BTR	133
Gambar 4. 21 Lendutan diafragma oleh BTR	137
Gambar 4. 22 Lendutan diafragma oleh BGT	137
Gambar 4. 23 Jenis Pembebanan Pada Steel Reinforced Elastomeric Pad (Primus dan Marcus, 2007)	138
Gambar 4. 24 Lendutan jembatan pada tengah bentang	139
Gambar 4. 25 Lendutan jembatan pada bentang tepi	139
Gambar 5. 1 Tampak perspektif struktur Jembatan Kartoharjo	141
Gambar 5. 2 Tampak samping struktur Jembatan Kartoharjo...	141
Gambar 5. 3 Kontur momen maksimum M11 dan M22 (span kiri dan span kanan) pier head	143
Gambar 5. 4 Potongan melintang tulangan pier head pilar	146
Gambar 5. 5 Kontur momen maksimum M11 dan M22 (span kiri dan span kanan) korbelt.....	147
Gambar 5. 6 Potongan melintang tulangan pier head pilar (korbelt)	150

Gambar 5. 7 Kontur momen maksimum M11 span kanan-span kiri dan M22 span kanan-span kiri (dari atas ke bawah) stopper pilar.....	151
Gambar 5. 8 Potongan melintang tulangan pier head pilar (stopper).....	154
Gambar 5. 9 Tampak perspektif komponen abutment.....	155
Gambar 5. 10 Kontur momen maksimum M11 dan M22 (span kiri dan span kanan) pier head abutment	156
Gambar 5. 11 Potongan melintang tulangan pier head abutment	159
Gambar 5. 12 Kontur momen maksimum M11 span kanan-span kiri dan M22 span kanan-span kiri (dari atas ke bawah) stopper abutment	160
Gambar 5. 13 Potongan melintang tulangan pier head abutment (stopper).....	163
Gambar 5. 14 Penulangan plat injak.....	168
Gambar 5. 15 Tampak perspektif struktur bored pile.....	172
Gambar 5. 16 Denah jembatan	172
Gambar 5. 17 Diagram gaya aksial pada bored pile pilar oleh kombinasi 4	176
Gambar 5. 18 Diagram gaya geser pada bored pile pilar oleh kombinasi 4	176
Gambar 5. 19 Diagram gaya momen pada bored pile pilar oleh kombinasi 5	177
Gambar 5. 20 Tampak samping tulangan bored pile pilar (1 m)	178
Gambar 5. 21 Result show oleh pcaCol (Bored pile pilar Ø1 m)	179

Gambar 5. 22 Grafik kontur oleh pcaCol (Bored pile pilar Ø1 m)	179
Gambar 5. 23 Grafik interaksi oleh pcaCol (Bored pile pilar Ø1m)	180
Gambar 5. 24 Diagram gaya aksial pada bored pile abutment oleh kombinasi 4	181
Gambar 5. 25 Diagram gaya geser pada bored pile abutment oleh kombinasi 4	181
Gambar 5. 26 Diagram gaya momen pada bored pile abutment oleh kombinasi 5	182
Gambar 5. 27 Result show oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)	183
Gambar 5. 28 Grafik kontur oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)	184
Gambar 5. 29 Grafik interaksi oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)	184
Gambar 5. 30 Tampak samping tulangan bored pile abutment (1 m)	184
Gambar 5. 31 Diagram gaya aksial pada bored pile abt (Ø1.5 m) oleh kombinasi 4	185
Gambar 5. 32 Diagram gaya geser pada bored pile abt (Ø1.5 m) oleh kombinasi 4	185
Gambar 5. 33 Diagram gaya momen pada bored pile abt (Ø1.5 m) oleh kombinasi 4	186
Gambar 5. 34 Result show oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)	187
Gambar 5. 35 Grafik kontur oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1.5 m)	188
Gambar 5. 36 Grafik interaksi oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1.5m)	188

Gambar 5. 37 Tampak samping tulangan bored pile abutment (1.5 m).....	188
Gambar 5. 38 Diagram gaya aksial-geser-momen (dari kiri) pada bored pile secant pile (Ø0.6 m dan Ø1 m) oleh kombinasi 4	189
Gambar 5. 39 Result show oleh pcaCol Bored pile secant pile Ø0.6 m (kiri) dan Ø1 m (kanan).....	192
Gambar 5. 40 Grafik interaksi oleh pcaCol Bored pile secant pile Ø0.6 m (kiri) dan Ø1 m (kanan).....	193
Gambar 5. 41 Grafik kontur oleh pcaCol Bored pile secant pile Ø0.6 m (kiri) dan Ø1 m (kanan).....	193
Gambar 5. 42 Tampak samping tulangan bored pile abutment 0.6 m (kiri) dan 1 m (kanan).....	193
Gambar 5. 43 Tampak perspektif Secant Pile pada abutment ...	194
Gambar 5. 44 Denah Secant Pile	194
Gambar 5. 45 Tekanan tanah aktif (atas) dan pasif (bawah)	195
Gambar 5. 46 Diagram momen pada tekanan tanah aktif (atas) dan pasif (bawah)	195
 Gambar 7. 1 Permodelan beban mati girder tengah 26.3 m	204
Gambar 7. 2 Permodelan beban hidup girder tengah 26.3 m	206
Gambar 7. 3 Penulangan Segmen 2,5 m.....	334
Gambar 7. 4 Penulangan Segmen 5 m.....	335
Gambar 7. 5 Penulangan Segmen 7,5 m.....	335
Gambar 7. 6 Penulangan Segmen 10 m.....	336
Gambar 7. 7 Penulangan Segmen 12,5 m.....	336
Gambar 7. 8 Beban tegak lurus terhadap perletakan	337

Gambar 7. 9 Sketsa rencana elastomer.....341

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Berat Jenis Bahan	16
Tabel 2. 2 Faktor beban akibat “T”	17
Tabel 2. 3 Faktor pengkali faktor DLA	20
Tabel 2. 4 lebar jalan berdasarkan jumlah lajur.....	21
Tabel 2. 5 Faktor akibat rem.....	23
Tabel 2. 6 faktor beban pejalan kaki.....	24
Tabel 2. 7 Tekanan Angin	25
Tabel 2. 8 Koefisien Seret Cw.....	25
Tabel 2. 9 Faktor Beban akibat.....	26
Tabel 2. 10 Faktor Gempa	27
Tabel 2. 11 Klasifikasi site didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10,)	29
Tabel 2. 12 Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik (FPGa / Fa)	30
Tabel 2. 13 Besarnya nilai faktor smplifikasi untuk periode 1 detik (Fv)	31
Tabel 2. 14 Zona Gempa	33
Tabel 2. 15 Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah.....	34
Tabel 2. 16 Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antar elemen struktur	34
Tabel 2. 17 Jenis tipikal pangkal Jembatan	61
Tabel 2. 18 Faktor Reduksi	63

Tabel 2. 19 faktor beban menurut BMS 1992 pasal 9.2 9-7	63
Tabel 2. 20 Jenis – jenis pilar dalam perencanaan	65
Tabel 3. 1 N-SPT Tanah asli section A	76
Tabel 3. 2 N-SPT Tanah asli section B	77
Tabel 3. 3 Resume spring constant pada tanah section A	80
Tabel 3. 4 Resume spring constant pada tanah section B.....	80
Tabel 3. 5 Resume Tekanan aktif tanah timbunan	92
Tabel 3. 6 Resume Tekanan aktif tanah asli	92
Tabel 3. 7 Resume tekanan tanah pasif	94
Tabel 3. 8 Koefisien periode pendek	96
Tabel 3. 9 Koefisien periode 1 detik	97
Tabel 3. 10 Hasil Nilai Csm	98
Tabel 3. 11 Resume kombinasi layan.....	99
Tabel 3. 12 Resume kombinasi ultimit.....	100
Tabel 4. 1 Kebutuhan tulangan melintang minimum plat 24 cm span kiri	113
Tabel 4. 2 Kebutuhan tulangan memanjang minimum plat 40 cm	115
Tabel 4. 3 Kebutuhan tulangan memanjang minimum plat 40 cm	115
Tabel 4. 4 Perhitungan Penulangan Girder Tepi Seksi 1	123
Tabel 4. 5 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 2	124
Tabel 4. 6 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 3	125
Tabel 4. 7 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 4	126

Tabel 4. 8 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 5	127
Tabel 4. 9 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 6	128
Tabel 4. 10 Rekapitulasi kebutuhan penulangan pada girder	129
Tabel 4. 11 Perhitungan Penulangan Diagfragma Seksi 1 dan 2	134
Tabel 4. 12 Perhitungan Penulangan Diagfragma Seksi 3 dan 4	135
Tabel 4. 13 Perhitungan Penulangan Diagfragma Seksi 5	136
Tabel 4. 14 Hasil nilai linier dan non-linier dari elastomer LRB untuk program bantu SAP2000	138
Tabel 5. 1 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head pilar span kiri	144
Tabel 5. 2 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head pilar span kanan	144
Tabel 5. 3 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head pilar span kanan	145
Tabel 5. 4 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head pilar span kanan	145
Tabel 5. 5 Kebutuhan tulangan memanjang minimum korbil pilar span kiri	148
Tabel 5. 6 Kebutuhan tulangan melintang minimum korbil pilar span kiri	148
Tabel 5. 7 Kebutuhan tulangan memanjang minimum korbil pilar span kanan	149
Tabel 5. 8 Kebutuhan tulangan melintang minimum korbil pilar span kanan	149

Tabel 5. 9 Kebutuhan tulangan memanjang minimum stopper pilar span kiri	152
Tabel 5. 10 Kebutuhan tulangan melintang minimum stopper pilar span kiri	152
Tabel 5. 11 Kebutuhan tulangan melintang minimum stopper pilar span kiri	153
Tabel 5. 12 Kebutuhan tulangan melintang minimum stopper pilar span kanan	153
Tabel 5. 13 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head abutment span kiri	157
Tabel 5. 14 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head abutment span kiri	157
Tabel 5. 15 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head abutment span kanan	158
Tabel 5. 16 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head abutment span kanan	158
Tabel 5. 17 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head abutment span kiri	161
Tabel 5. 18 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head abutment span kanan	161
Tabel 5. 19 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head abutment span kanan	162
Tabel 5. 20 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head abutment span kanan	162
Tabel 5. 21 Kebutuhan tulangan memanjang minimum capping wingwall secant pile span kiri	165
Tabel 5. 22 Kebutuhan tulangan melintang minimum capping wingwall secant pile span kiri	165

Tabel 5. 23 Kebutuhan tulangan memanjang minimum capping wingwall secant pile span kanan	166
Tabel 5. 24 Kebutuhan tulangan melintang minimum capping wingwall secant pile span kanan	166
Tabel 5. 25 Berat sendiri plat injak.....	168
Tabel 5. 26 Rekapitulasi beban pada plat injak	169
Tabel 5. 27 Nilai N-SPT Span Kiri	174
Tabel 5. 28 Nilai N-SPT Span Kanan	175
Tabel 5. 29 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile Pilar 1 m	177
Tabel 5. 30 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile Pilar 1 m	178
Tabel 5. 31 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile abutment 1 m.....	182
Tabel 5. 32 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile abutment 1 m.....	183
Tabel 5. 33 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile abutment 1.5 m.....	186
Tabel 5. 34 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile abutment 1.5 m.....	187
Tabel 5. 35 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile secant pile 0.6 m.....	190
Tabel 5. 36 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile secant pile 1 m.....	190
Tabel 5. 37 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile secant pile 0.6 m.....	191
Tabel 5. 38 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile secant pile 1 m.....	191

Tabel 7. 1 Rekapitulasi beban vertikal perletakan.....339

Tabel 7. 2 Rekapitulasi beban horizontal pada perletakan339

Tabel 7. 3 Lampiran tabel spek elastomer340

Tabel 7. 4 Dimensi perletakan elastomer341

Tabel 7. 5 Data dan spesifikasi elastomer341

Tabel 7. 6 Rekapitulasi pemeriksaan elastomer347

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2. 1 hubungan panjang struktur yg dibebani dgn intensitas beban terbagi rata	18
Grafik 2. 2 pengkali faktor DLA	19
Grafik 2. 3 hubungan gaya REM dan bentang	23
Grafik 2. 4 hubungan intensitas beban dan luas beban.....	24
Grafik 2. 5 Bentuk tipikal respon spektra desain di permukaan tanah	31

BAB I

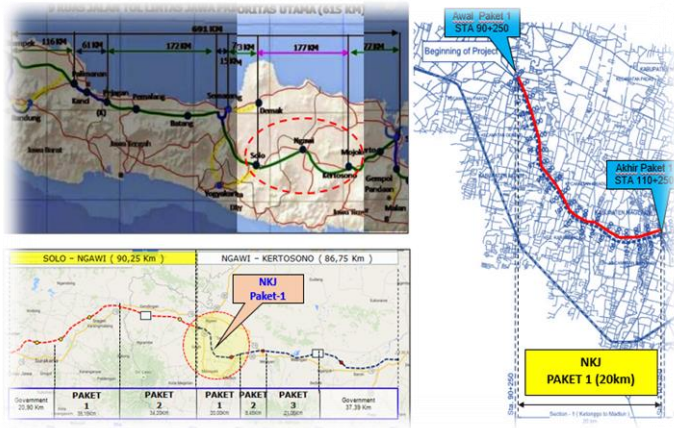
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu unsur pokok atau komponen yang penting dalam dunia transportasi, dimana jembatan berperan untuk melintaskan kendaraan melewati jalan terputus yang disebabkan adanya rintangan seperti sungai, danau, lembah, jurang jalan dan lain lain tanpa menutupnya. Oleh karena itu jembatan merupakan unsur pokok yang sangat vital dalam bidang transportasi, kekacauan akan terjadi dimana – mana, disegala aspek kehidupan jikalau dalam jalur transportasi tidak dilengkapi dengan jembatan karena dinamika transportasi yang sedang berjalan tiba – tiba menjadi terhenti karena tidak adanya jembatan sehingga efeknya akan merambat di segala aspek kehidupan. Dengan melihat kontribusi jembatan yang sangat memegang peranan penting dalam dunia transportasi seperti di atas, maka diperlukan sebuah usaha untuk mempelajari mengenai seluk beluk struktur jembatan.

Jembatan Kartoharjo adalah salah satu bagian dari jalan tol Solo – Kertosono tepatnya pada STA 102+678 melintasi sungai Kartoharjo berlokasi di Kecamatan Kartoharjo, Kabupaten Magetan. Desain awal (kondisi existing) Jembatan Kartoharjo memiliki panjang total 43 m dengan jarak abutment ke pilar 9 m untuk 2 lajur 2 arah dengan lebar jembatan 25,2 m. Jembatan Kartoharjo digunakan sebagai Objek Penulisan Tugas Akhir yang dimodifikasi dengan menghilangkan menghilangkan fungsi *Pile Cap* dan menjadikan Pondasi sekaligus sebagai *Pier Column*, dan menggunakan *Secant Pile* sebagai Dinding Penahan Tanah pada bagian Abutment. Jembatan ini tidak dilengkapi dengan

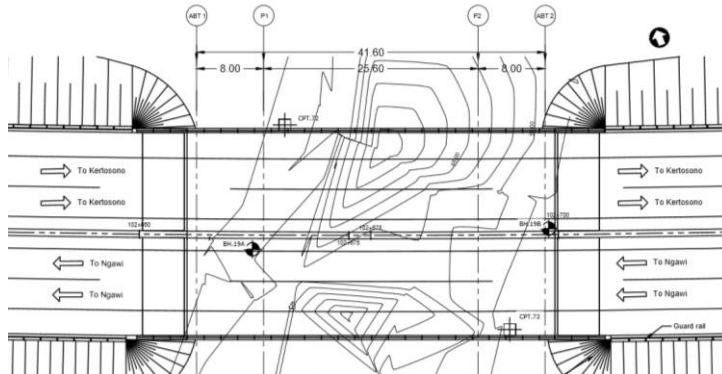
trottoar karena jalan tol direncanakan tidak diperuntukkan untuk pejalan kaki.



Gambar 1. 1 Peta Lokasi Kab. Magetan



Gambar 1. 2 Kondisi Existing Jembatan Kartoharjo



Gambar 1. 3 Denah Jembatan

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan diatas, maka rumusan masalah yang ingin diangkat adalah bagaimana merencanakan ulang struktur Jembatan Kertoharjo Kabupaten Magetan dengan menghilangkan fungsi *Pile Cap* dan menjadikan Pondasi sekaligus sebagai *Pier Column*, dan menggunakan *Secant Pile* sebagai Dinding Penahan Tanah pada bagian Abutment. Untuk itu perlu perincian masalah secara detail supaya dapat diketahui skala prioritas dan urutan kerjanya, yang meliputi:

1. Merencanakan struktur bangunan atas jembatan
2. Merencanakan struktur bangunan bawah jembatan
3. Merencanakan bangunan pelengkap pada jembatan

Merencanakan peletakan dan bangunan dinding penahan tanah yang sesuai dengan persyaratan dalam peraturan teknik jembatan

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari penyimpangan pembahasan dari masalah yang telah diuraikan diatas dank arena keterbatasan waktu penyusunan Tugas Akhir, maka perlu adanya batasan masalah. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sampai dengan batasan – batasan, antara lain :

1. Tidak membahas metode pelaksanaan jembatan
2. Tidak menghitung RAB jembatan
3. Tidak menghitung turap / *sheet pile*

1.4 Maksud dan Tujuan

Adapun tujuan tugas akhir ini adalah untuk merencanakan ulang struktur Jembatan Kartoharjo Kabupaten Magetan dengan menghilangkan fungsi *Pile Cap* dan menjadikan Pondasi sekaligus sebagai *Pier Column*, dan menggunakan *Secant Pile* sebagai Dinding Penahan Tanah pada bagian Abutment. Sesuai dengan permasalahan diatas dengan mengacu kepada syarat dan peraturan perencanaan jembatan. Berikut tujuan dari penulisan tugas akhir, meliputi :

1. Merencanakan dimensi struktur bangunan atas yang meliputi :
 - a. Plat lantai kendaraan dan menghitung kebutuhan penulangannya
 - b. Gelagar memanjang dan melintang serta menghitung kebutuhan penulangannya
 - c. Parapet dan menghitung kebutuhan penulangannya
2. Merencanakan dimensi struktur bangunan bawah yang meliputi :
 - a. Abutment

- b. Pilar (*Pier Column*)
 - c. Pondasi *Bored Pile*
 - d. Dinding Penahan Tanah (*Secant Pile*)
3. Merencanakan dimensi struktur bangunan pelengkap yang meliputi :
 - a. Plat Injak (*Approach Slab*)
 - b. Tembok Sayap (*Wing Wall*)
 4. Menggambar detail struktur yang direncanakan tersebut

1.5 Manfaat Perencanaan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, mahasiswa diharapkan mampu dan kreatif dalam menyusun laporan tugas akhir. Penyusunan tugas akhir ini sangat bermanfaat bagi mahasiswa, institusi, dan instansi terkait. Dikarenakan tugas akhir ini diharapkan mampu menyajikan karya yang orisinal dalam merencanakan ulang suatu konstruksi jembatan.

Manfaat yang dapat diambil dari perencanaan jembatan Kartoharjo pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk dijadikan sebagai proyek tugas akhir yang menjadi syarat kelulusan
2. Sebagai proses pembelajaran bagi mahasiswa dan suatu aplikasi dari keseluruhan ilmu yang telah dipelajari selama proses kuliah
3. Dapat mengetahui proses perencanaan yang terjadi dalam suatu proyek jembatan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori Perancangan

Perencanaan jembatan harus berdasarkan pada suatu prosedur yang memberikan jaminan keamanan pada tingkat yang wajar, berupa kemungkinan yang dapat diterima untuk mencapai suatu keadaan batas selama umur rencana jembatan (RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan). Perencanaan kekuatan balok, pelat, kolom beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan yang diperhitungkan terhadap lentur, aksial, geser dan puntir harus didasarkan pada cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT). Untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tegangan kerja, seperti untuk perencanaan terhadap lentur dari komponen struktur beton prategang penuh atau komponen struktur lain sesuai kebutuhan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif dapat digunakan cara perencanaan batas layan. Sedangkan menurut Perencanaan Jembatan Beton (DPU, 1995).

Beberapa pertimbangan yang menentukan diperlukannya membangun sebuah jembatan yaitu :

1. Umur jembatan yang lama, telah terlalu tua sehingga perlu diganti dengan jembatan yang baru.
2. Diperlukan jembatan yang sama sekali baru, sebab alat penyebrangan/ perlintasan yang ada (misal: ponton) tidak dapat memenuhi kebutuhan yang ada.
3. Pada jalan yang sama sekali baru, diperlukan membangun jembatan yang baru.

Berdasarkan RSNI T-03-2005 Perencanaan Stuktur Baja Untuk Jembatan, Perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan harus didasarkan pada persyaratan yang berlaku di dalam standar. Dalam perencanaan tersebut harus mempertimbangkan pengaruh terhadap jembatan yang mungkin terjadi, yaitu kondisi pembebanan yang tidak direncanakan seperti dalam kondisi perang. Setiap jenis pembebanan yang mungkin terjadi tersebut harus dapat diramalkan sebelumnya secara rasional. Namun setiap aksi atau pengaruh yang mungkin terjadi dapat diramalkan sebelumnya secara rasional harus dipertimbangkan dalam perencanaan.

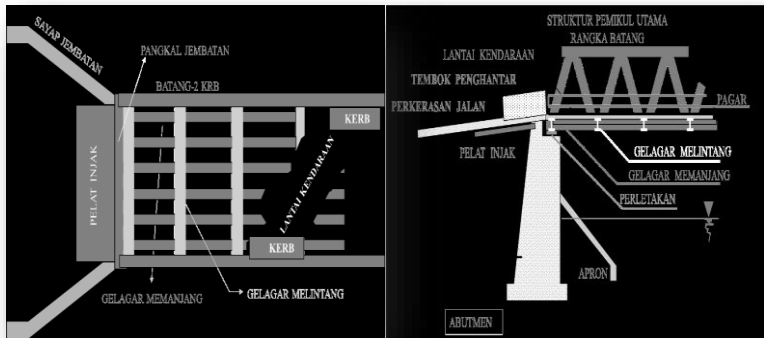
2.1.1 Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan antar jalan yang satu dengan yang lain melalui suatu rintangan. Rintangan tersebut seperti sungai, danau, lembah, jurang, irigasi, jalan raya, jalan kereta api, laut maupun selat. Jembatan sering disebut *viaduct* jika berada diatas lalu lintas. Jembatan dapat di golongan menjadi jembatan tetap dan jembatan dapat digerakkan. Kedua golongan jembatan tersebut pada umumnya dipergunakan untuk lalu lintas kereta api dan lalu lintas biasa.

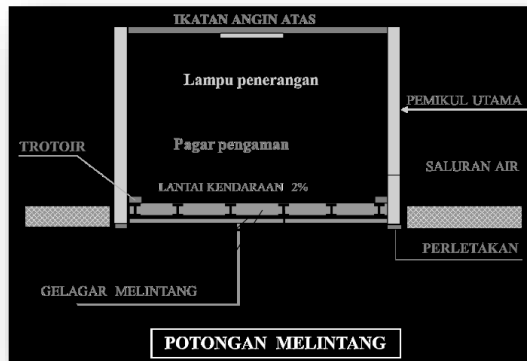
(Struyk dan veen, 1984)

2.1.2 Komponen Struktur Jembatan

Jembatan merupakan suatu sistem yang kompleks, dimana terdapat faktor-faktor yang perlu untuk dikaji seperti sistem struktural yang sederhana, kuat dan ekonomis. Jembatan terdiri dari beberapa bagian pokok penyusunnya yaitu :



Gambar 2. 1 Ilustrasi Tampak Atas dan Tampak Samping Jembatan



Gambar 2. 2 Ilustrasi Potongan Melintang Jembatan

1. Bangunan atas (lantai kendaraan, balok memanjang, balok melintang, trotoar, rangka batang, ikatan angin

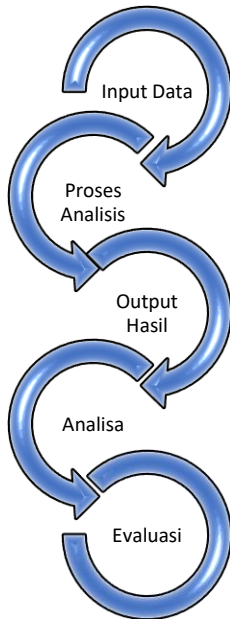
atas bawah, ikatan rem) Bangunan bawah (pilar, abutmen)

2. Pondasi (elastomer, pondasi pilar, perletakan sendi-rol)
3. Landasan (urugan/oprit, plat injak/expansion joint, tembok penghantar)
4. Bangunan pengaman jembatan (pengaman lereng pondasi/ abutmen, wing abutmen)
5. Kelengkapan Jembatan (sandaran, lampu penerangan, saluran air, kabel listrik dan telepon)

2.1.3 Konsep dan Beberapa Aspek Dasar Perencanaan Jembatan

Merencanakan sebuah jembatan dimungkinkan adanya perbedaan antara ahli satu dengan yang lainnya, tergantung latar belakang kemampuan dan pengalaman perencananya. Akan tetapi perbedaan tersebut tidak akan menjadi penyebab gagalnya proses perencanaan jembatan apabila sebelum proses pelaksanaan konstruksi jembatan, paling tidak seorang ahli atau perencana telah mempunyai data, baik data sekunder maupun primer yang berkaitan dengan proses pembangunan jembatan. Data tersebut merupakan bahan pemikiran dan pertimbangan sebelum mengambil keputusan akhir. Proses tahapan perencanaan yang ditunjukkan adalah seperti gambar dibawah ini :

Menurut Supriyadi (2007), data yang diperlukan dalam proses perencanaan jembatan antara lain :



Gambar 2. 3 Proses Perencanaan

a. Lokasi jembatan :

Topografi, Lingkungan,
Tanah Dasar

b. Keperluan :

Melintasi sungai, jurang/
lembah, jalan, rel kereta api dll,

c. Bahan struktur :

Karakteristiknya,
Ketersediaannya, Peraturan yang
berlaku.

Perencanaan Jembatan Kartoharjo melakukan peninjauan beberapa aspek yang nantinya akan mempengaruhi jenis jembatan, penempatan bentuk konfigurasi struktur jembatan, bahan yang digunakan, desain komponen jembatan dan metode konstruksi yang akan digunakan dalam pelaksanaan pembangunan jembatan tersebut. Beberapa aspek yang di tinjau antara lain :

A. *Aspek hidrologi*

Aspek hidrologi berkaitan erat dengan data hidrologi/ curah hujan yang ada di daerah lokasi jembatan yang akan dibangun. Berdasarkan data curah hujan dapat diketahui tinggi muka air banjir sehingga jarak clearance deck jembatan dengan tinggi muka air banjir dapat diketahui dan tinggi pile lantai jembatan dapat ditentukan. Sedangkan kecepatan aliran sungai dan debit banjir digunakan sebagai dasar untuk merencanakan konstruksi abutment jembatan.

B. *Aspek geoteknik*

Aspek geoteknik yang didasarkan pada data tanah digunakan untuk menentukan jenis dan dimensi pondasi yang akan digunakan. Kondisi tanah disekitar lokasi yang merupakan jenis batuan cadas akan memberikan daya dukung tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat biasa.

C. *Aspek geometri jalan*

Pada umumnya jembatan-jembatan direncanakan dengan mengikuti rencana alignment dari jalan raya yang telah ditentukan terlebih dahulu, akan tetapi dalam kondisi khusus dimana kemungkinan-kemungkinan untuk membangun jembatan yang telah ditentukan tersebut tidak memungkinkan (karena kondisi tanah atau kondisi aliran sungai) maka dimungkinkan alignment jalan sedikit dirubah.

D. *Aspek konstruksi*

Penentuan aspek konstruksi dipengaruhi oleh aspek yang lain. Aspek konstruksi ditinjau sebagai dasar metode analisis struktur jembatan, pemilihan metode konstruksi,

metode perawatan dan perbaikan serta besarnya biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan dan operasional jembatan.

2.2 Bagian – Bagian Jembatan

2.2.1 Bangunan Atas

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki, dan lain – lain. Struktur atas jembatan umumnya meliputi :

- Plat lantai kendaraan
- Balok girder
- Balok diafragma
- Trotoar
- Sandaran atau parapet

2.2.2 Bangunan Bawah

Struktur bawah jembatan berfungsi memikul seluruh beban struktur jembatan atas baik beban hidup maupun beban mati dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gaya rem, beban gempa dan lain – lain untuk kemudian disalurkan oleh pondasi ke tanah dasar. Struktur bawah jembatan umumnya meliputi :

- Abutment - Dinding belakang (*Back wall*)
 - Dinding penahan (*Longitudinal stopper*)
 - Dinding sayap (*Wing wall*)
 - Dinding *bored pile* (*Secant Pile*)
 - Plat injak (*Approach slab*)
 - Tumpuan (*Bearing*)
 - Pondasi

- Pilar
 - Kepala pilar (*Pier head*)
 - Pilar yang berupa dinding , kolom, atau portal
 - Tumpuan (*Bearing*)
 - Pondasi

2.3 Pemilihan Perletakkan



Gambar 2. 4 Perletakan Jembatan

Konstruksi perletakan harus dapat meneruskan gaya vertikal maupun horizontal yang bekerja pada jembatan ke pondasi jembatan, disini kami memilih perletakan yang akan dipakai sesuai dengan peraturan KJI-12, yaitu antara lain:

A. Perletakan sendi

Untuk perletakan jenis sendi dipakai bila tumpuan jembatan menahan gaya vertikal dan horizontal dan tidak menahan momen sehingga rotasi pada tumpuan jenis ini dapat terjadi.

B. Perletakan rol

Untuk perletakan jenis rol dipakai bila tumpuan jembatan menahan gaya vertikal dan tidak menahan momen dan gaya horizontal sehingga rotasi dan perubahan posisi tumpuan bidang horizontal pada tumpuan jenis ini dapat terjadi.

2.4 Pembebanan

Pada perencanaan jembatan yang perlu diperhatikan adalah beban – beban yang terjadi pada jembatan. Beban – beban tersebut akan mempengaruhi besarnya dimensi dari struktur jembatan serta banyaknya tulangan yang digunakan. Pada peraturan RSNI T-02-2005 tentang standart pembebanan untuk jembatan aksi – aksi (beban) digolongkan berdasarkan bagian bagian jembatan yaitu :

1. Beban mati

Beban mati adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non – structural yang dipikul dan bersifat tetap (RSNI T-02-2005 Pasal 5). Pada bangunan atas beban mati terdiri dari beban girder, beban difragma, beban plat lantai kendaraan, beban parapet.

Tabel 2. 1 Berat Jenis Bahan

Bahan	Berat Jenis (kN/m^3)
Lapisan permukaan beraspal	22,00
Timbunan tanah dipadatkan	17,20
Kerikil dipadatkan	22,70
Aspal beton	22,00
Beton	25,00
Beton bertulang	25,00
Batu pasangan	23,50

2. Beban mati tambahan

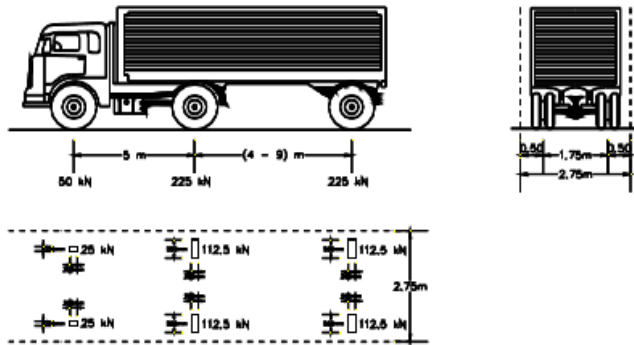
Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Jembatan direncanakan mampu memikul beban tambahan seperti lapisan aspal overlay dan genangan air hujan. (RSNI T-02-2005 Pasal 5.3)

3. Beban hidup lalu lintas



Gambar 2. 5 Beban T dan D

a. Beban “T” = Beban bergerak (truk)



Gambar 2. 6 Beban Truk Bergerak

1. Gaya Roda Depan : 25 KN/roda
2. Gaya Roda Tengah : 112.5 KN/roda
3. Gaya Roda Belakang : 112.5 KN/roda
4. Untuk beban T, berlaku faktor beban dinamic (DLA) sebesar 0.3
 - Roda Depan : 32.5 KN/roda
 - Roda Tengah : 146.25 KN/roda
 - Roda Belakang : 146.25 KN/roda
5. Faktor beban akibat “T”

Tabel 2. 2 Faktor beban akibat “T”

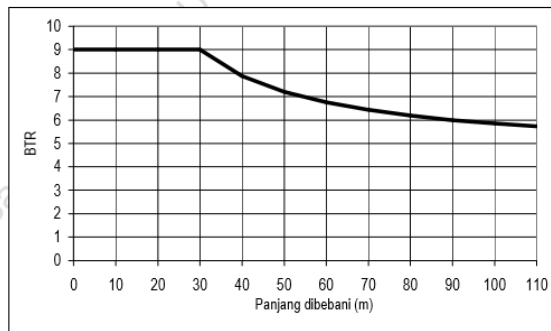
JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;T};$	$K_{U;T};$
Transien	1,0	1,8

b. Beban lajur “D” = UDL

Untuk jembatan dengan bentang > 30 meter maka beban terbagi rata :

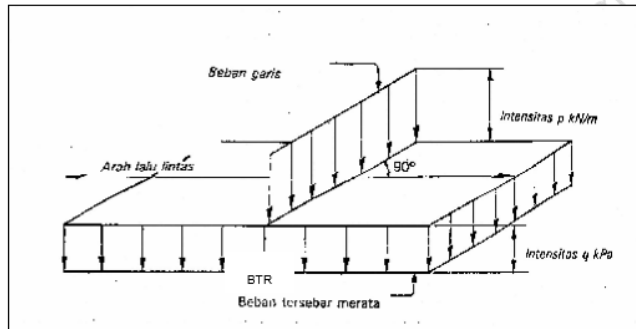
$$UDL = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ KPa}$$

Dimana beban terbagi rata UDL merupakan beban arah memanjang jembatan dengan L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter). Panjang beban terbagi rata ini harus dibagi menjadi panjangpanjang tertentu agar mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Berikut hubungan panjang struktur yang dibebani dengan intensitas beban terbagi rata :



Grafik 2. 1 hubungan panjang struktur yg dibebani dgn intensitas beban terbagi rata

Sedangkan penempatan panjang beban terbagi rata “D” dengan beban garis “D” arah memanjang adalah sebagai berikut :



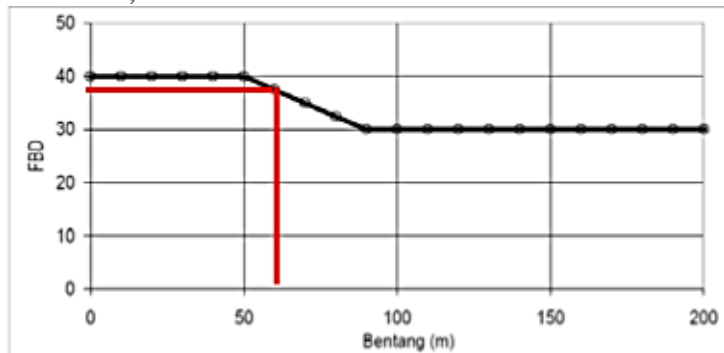
Gambar 2. 7 penempatan panjang beban terbagi rata “D” dengan beban garis “D” arah memanjang

c. Beban garis “D” = KEL

Untuk jembatan dengan bentang > 30 meter maka :

$$KEL = P = 49,0 \text{ KN/m}$$

Untuk beban berjalan Kel, harus dikalikan dengan Faktor DLA, besarnya dapat dilihat pada Grafik dibawah ini,



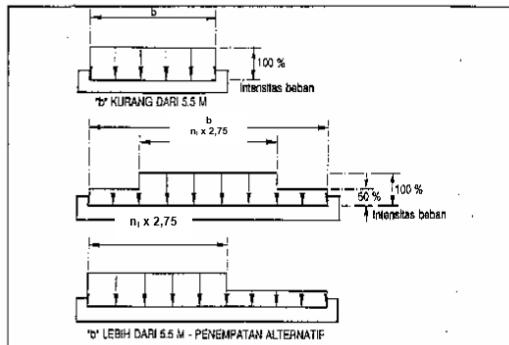
Grafik 2. 2 pengkali faktor DLA

- Panjang Bentang : 60.00 meter
- DLA dipakai : 37.5%
- "D" Line Load (Kel) + DLA : 67.38 kN / m
- Faktor beban Lajur "D"

Tabel 2. 3 Faktor pengkali faktor DLA

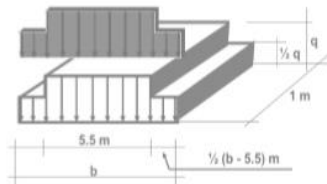
JANGKA WAKTU	Factor Beban	
	K^B_{td}	K^U_{td}
Transien	1.00	1.80

Sedangkan untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum dan geser maksimum pada jembatan menerus, Beban garis kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya. Berikut alternatif penempatannya :

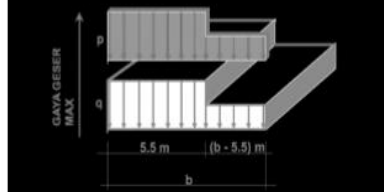


Gambar 2. 8 Penyebaran pembebanan pada arah melintang

Posisi Beban pada saat menghitung kekuatan gelagar memikul momen



Posisi Beban pada saat menghitung kekuatan gelagar memikul beban geser

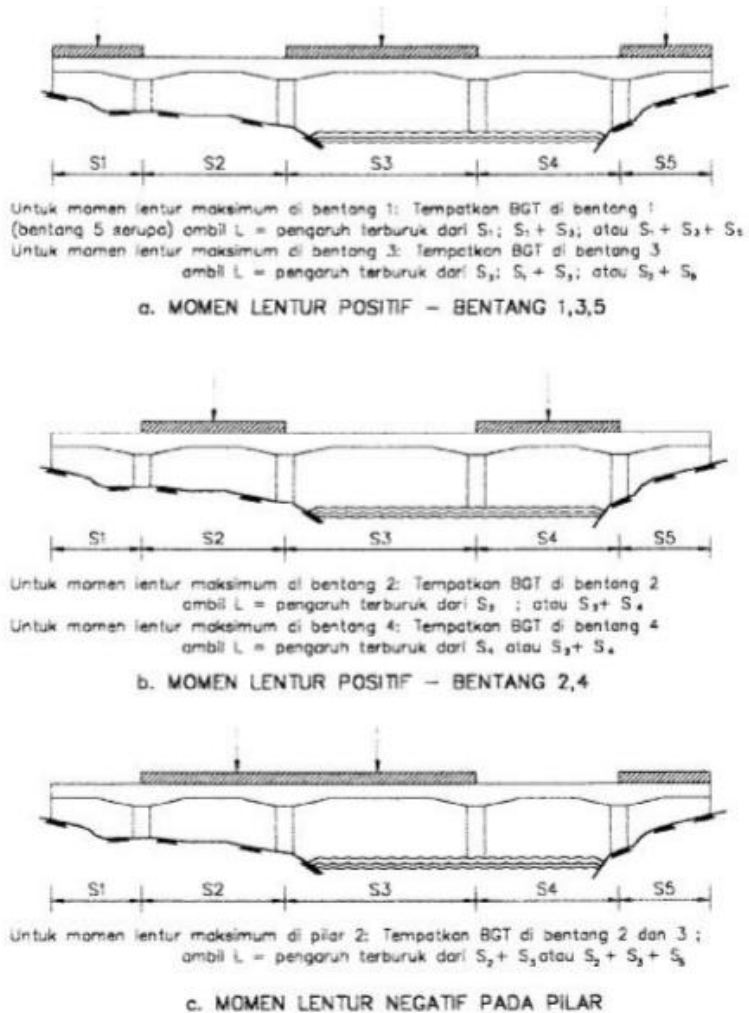


Gambar 2. 9 posisi beban saat menghitung beban geser dan beban geser

Dengan ketentuan pembagian lajur lalu lintas rencana sesuai dengan tabel dibawah ini :

Tabel 2. 4 lebar jalan berdasarkan jumlah lajur

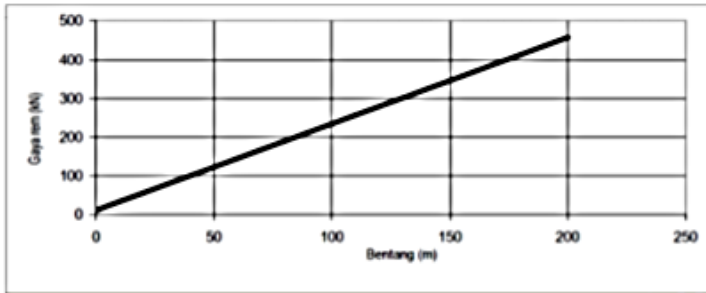
Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (m) (2)	Jumlah Lajur Lalu lintas Rencana (n)
Satu lajur	4,0 - 5,0	1
Dua arah, tanpa median	5,5 - 8,25 11,3 - 15,0	2 (3) 4
Banyak arah	8,25 - 11,25 11,3 - 15,0 15,1 - 18,75 18,8 - 22,5	3 4 5 6
CATATAN (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh Instansi yang berwenang. CATATAN (2) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dengan median untuk banyak arah. CATATAN (3) Lebar minimum yang aman untuk dua-lajur kendaraan adalah 6.0 m. Lebar jembatan antara 5,0 m sampai 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkan untuk menyiap.		



Gambar 2. 10 beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok

d. Beban rem

Pengaruh REM dan percepatan Lalu lintas harus dipertimbangkan sebagai beban memanjang, besarnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :



Gaya REM Per Lajur 2.75 m

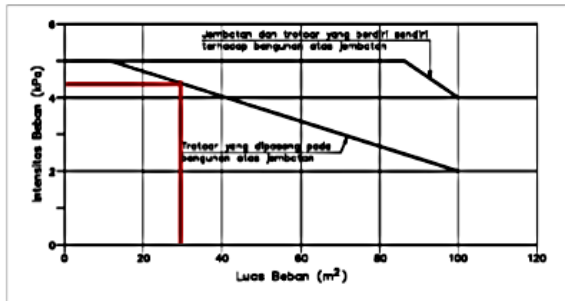
Grafik 2. 3 hubungan gaya REM dan bentang

Tabel 2. 5 Faktor akibat rem

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K S_{r}; 7B_r$	$K U_r; 7B_r$
Transien	1,0	1,8

e. Beban pejalan kaki

Pedestrian Load adalah beban pejalan kaki, untuk design jembatan, nilainya tergantung pada luas beban yang dipikul oleh unsur rencana. Untuk nilainya, dapat dilihat pada tabel dibawah ini :



Grafik 2. 4 hubungan intensitas beban dan luas beban

- Panjang Jembatan : 60.00 Meter
- Lebar Trotoar : 0,5 meter
- Luas Trotoar : 30 m²
- Intensitas beban : 4,5 kPa

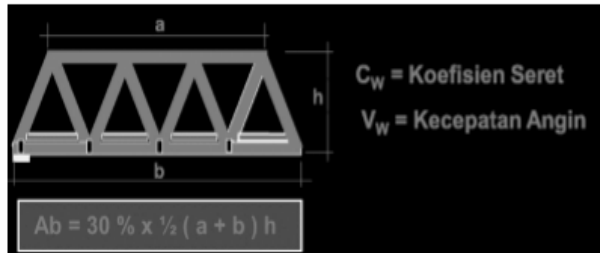
Tabel 2. 6 faktor beban pejalan kaki

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K S_i; TP_i$	$K U_i; TP_i$
Transien	1,0	1,8

f. Beban angin

Gaya angin pada jembatan tergantung pada :

1. Luas ekuivalen diambil sebagai luas padat jembatan dalam elevasi proyeksi tegak lurus. Untuk jembatan rangka ini diambil sebagai 30 % luas yang dibatasi oleh unsur rangka luar.



Gambar 2. 11 Luas ekuivalen untuk beban angin

2. Tekanan angin rencana (kPa) diberikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2. 7 Tekanan Angin

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

1. Koefisien Seret C_w :

Tabel 2. 8 Koefisien Seret C_w

Tipe Jembatan		C_w
Bangunan atas masif :	(1), (2)	
	$b/d = 1.0$	2.10 (3)
	$b/d = 2.0$	1.50 (3)
	$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka		1.2
Catatan (1)	b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran	
	D= tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran masif	
Catatan (2)	Untuk harga antara dari b/d bisa diinterpolasi linear	
Catatan (3)	Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3% untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2.5 %	

2. Faktor Beban akibat angin :

Tabel 2. 9 Faktor Beban akibat

JANGKA WAKTU	Factor Beban	
	K_{EW}^s	K_{EW}^u
Transien	1.00	1.20

3. Beban angin akibat tekanan angin (TEW1) :

$$T_{ew1} = 0,0006 \cdot C_w \cdot V_w^2 \cdot A_b \quad (KN)$$

4. Beban angin akibat kendaraan (TEW2) :

$$T_{ew2} = 0,0012 \cdot C_w \cdot V_w^2$$

4. Beban Gempa

Pada design jembatan ini, dipakai gempa Maksimum dengan koefisien geser dasar gempa 0.23 dengan Gaya geser dasar nominal (T^*EQ) adalah :

$$T^*_{EQ} = K_h \cdot I \cdot W_T$$

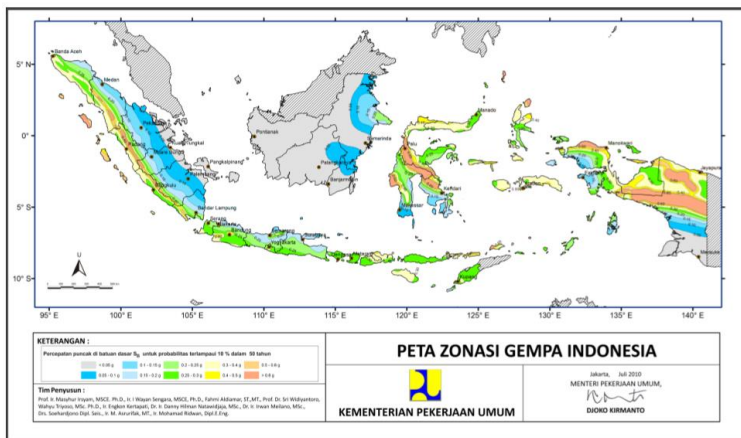
$$K_h = C \cdot S$$

dimana :

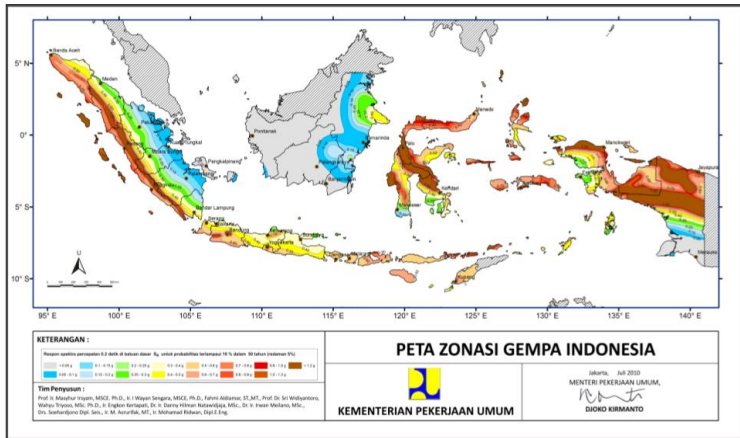
- C, Koefisien geser dasar = 0.23
- S, Faktor Type Bangunan = 1.00
- I, Faktor Kepentingan = 1.20
- Berat bangunan (W_t)

Tabel 2. 10 Faktor Gempa

No	Klasifikasi	Harga / Minimum
1	Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan per hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif	1.2
2	Seluruh jembatan permanen lainnya dimana jalur alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk mengurangi pembebanan lalu lintas	1.0
3	Jembatan Sementara (misalnya Bailey) dan jembatan yang direncanakan untuk mengurangi pembebanan lalu lintas	0.8



Gambar 2. 12 Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun



Klasifikasi situs ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium

Tabel 2. 11 Klasifikasi site didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10,)

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{v}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{v}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{v}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{v}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3 m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

Pada tabel diatas, N adalah hasil uji penetrasi standart dengan lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya dan harus dihitung menurut persamaan berikut ini :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{\bar{N}} \right)} \dots$$

Dimana ,

N = Nilai hasil uji penetrasi standart lapisan tanah

ti = Tebal lapisan tanah ke – i

m = Jumlah lapisan tanah (30 m)

Untuk penentuan respons spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada periode nol detik, periode pendek (T = 0,2 detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik (FPGA), faktor amplifikasi periode pendek (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (Fv). Tabel 2.12 dan Tabel 2.13 memberikan nilai – nilai FPGA, Fa, dan Fv untuk berbagai klasifikasi tanah.

(SNI Gempa 2833 – 2013 Pasal 5.3.2)

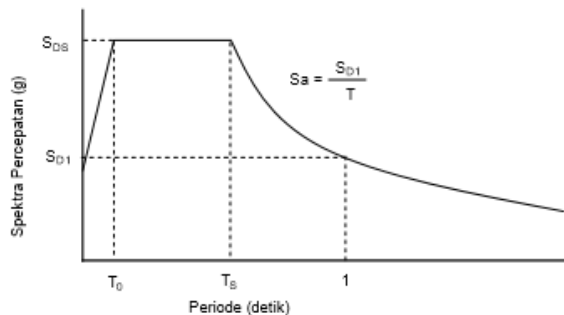
Tabel 2. 12 Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik
(FPGA / Fa)

Klasifikasi Site (Sesuai Tabel 2)	S _s				
	S _s ≤ 0.25	S _s = 0.5	S _s = 0.75	S _s = 1.0	S _s ≥ 1.25
Batuan Keras (S _A)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (S _B)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S _C)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (S _D)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (S _E)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (S _F)	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 2. 13 Besarnya nilai faktor smplifikasi untuk periode 1 detik (Fv)

Klasifikasi Site (Sesuai Tabel 2)	S ₁				
	S ₁ ≤ 0.1	S ₁ = 0.2	S ₁ = 0.3	S ₁ = 0.4	S ₁ ≥ 0.5
Batuan Keras (S _A)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (S _B)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S _C)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (S _D)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (S _E)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (S _F)	SS	SS	SS	SS	SS

Respons spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum dari system berderajat – kebebasan – tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) terendam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respons spektra dibuat dalam bentuk respons spectra yang sudah disederhanakan. (**SNI Gempa 2833 – 2013 Pasal 5.4.1**)



Grafik 2. 5 Bentuk tipikal respon spektra desain di permukaan tanah

Respons spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA, S_s dan S_1 , serta nilai faktor amplifikasi FPGA, F_a , dan F_v . Perumusan respons spektra adalah sebagai berikut :

$$A_s = F_{PGA} \times PGA$$

$$SSD = F_s \times S_s$$

$$SD1 = F_v \times S_1$$

Koefisien respons gempa elastik :

1. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = (SDS \ A_s) T/T_0 + A_s$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respons spektra percepatan C_{sm} adalah sama dengan SDS
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T}$$

Keterangan

SDS = Nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek

$SD1$ = Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1 detik

T_0 = $0,2 \times T_s$

T_s = $\frac{SD1}{SDS}$

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra periode 1 detik (S_{D1}) sesuai tabel 2.x. Kategori tersebut menggambarkan variasi resiko seismik dan digunakan untuk penentuan metode analisis, panjang tumpuan minimum, detail perencanaan kolom, dan prosedur desain pondasi dan kepala jembatan

(SNI Gempa 2833 – 2013 Pasal 5.6)

Tabel 2. 14 Zona Gempa

Koefisien percepatan (S_{D1})	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

Untuk penggunaan faktor modifikasi respons pada pasal ini maka detail struktur harus sesuai dengan ketentuan pada Pasal 7 dan Pasal 7.5 SNI Gempa 2833 – 2013

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastic dengan faktor modifikasi respons (R) sesuai tabel 2.x dan 2.x. Sebagai alternatif penggunaan faktor R pada tabel 2.x untuk hubungan struktur, sambungan monolit antar elemen struktur seperti hubungan kolom ke pondasi telapak dapat direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk berhubungan

Apabila digunakan analisis dinamik waktu, maka faktor modifikasi respons (R) diambil sebesar 1 untuk jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

(SNI Gempa 2833 – 2013 Pasal 5.7)

Tabel 2. 15 Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 2. 16 Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antar elemen struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan mual (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan harus dikombinasikan, sehingga memiliki 2 tinjauan pembebanan sebagai berikut :

- 100% gaya gempa pada arah x dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah y

- 100% gaya gempa pada arah y dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah x

Sehingga apabila diplikasikan dengan memperhitungkan variasi arah maka kombinasi gaya gempa menjadi sebagai berikut :

1. $DL + \gamma EQ_{LL} \pm EQ_x \pm EQ_y$
2. $DL + \gamma EQ_{LL} \pm EQ_y \pm EQ_x$

Keterangan :

DL = Beban mati yang bekerja (kN)

γEQ = Faktor beban hidup kondisi gempa (0,5)

LL = Beban hidup yang bekerja (kN)

EQ_x = Beban gempa yang bekerja pada arah x

EQ_y = Beban gempa yang bekerja pada arah y

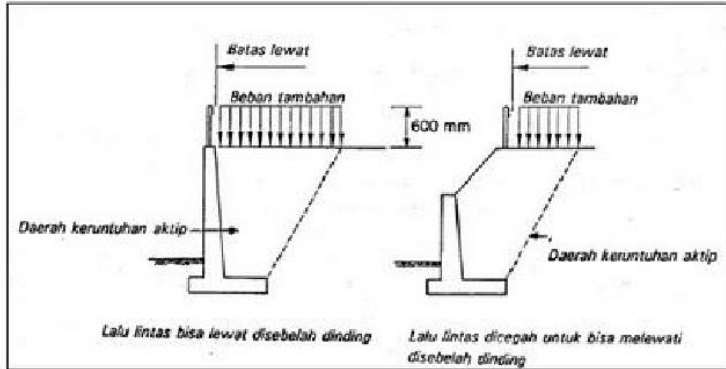
Beban Tekanan Aktif Akibat Gempa

a. Tekanan tanah aktif

Seperti yang telah disebutkan beban yang diterima kepala jembatan antara lain beban bangunan atas dan tekanan tanah. Tekanan tanah yang membebani dinding penahan tanah dengan arah horisontal, apabila dinding penahan tanah digerakkan ke arah tanah irisan di bagian belakang maka tekanan tanah akan meningkat perlahan – lahan sampai mencapai suatu harga tetap. Tekanan tanah pasif mempunyai tegangan horisontal yang arahnya berlawanan dengan tekanan tanah aktif.

Pada tanah dibagikan belakang dinding penahan harus diperhatikan ada beban tambahan yang bekerja akibat beban lalu – lintas di atas tanah, besar beban lalu lintas tersebut setara dengan tanah setebal 0,6 meter yang bekerja

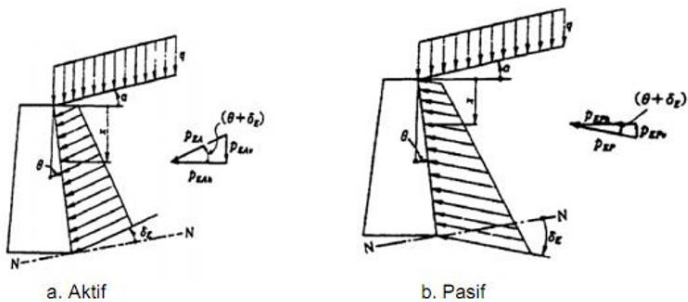
secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu – lintas tersebut (**RSNI T-02-2005 Pasal 5.4.2**)



Gambar 2. 15 Tekanan tanah tambahan

b. Tekanan tanah dinamis akibat gempa

Kepala jembatan harus direncanakan agar mampu menahan beban tekanan tanah dinamis akibat gempa.



Gambar 2. 16 Tekanan tanah akibat gempa

$$K_{aG} = \frac{\cos^2 (\phi - \theta - \beta)}{\mu \cos \theta \cos^2 \beta \cos (\delta + \beta + \theta)}$$

$$\mu = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin (\phi + \delta) \sin (\phi - \theta - \alpha)}{\cos (\delta + \beta + \phi) \cos (\beta - \alpha)}} \right]^2$$

Dimana ,

KaG = Koefisien tekanan tanah aktif akibat gempa

θ = $\tan^{-1} K_h$ (derajat)

K_h = Koefisien gempa horizontal

δ = Sudut geser antara tembok dan tanah

ϕ = Sudut geser dalam

β = Sudut antara permukaan belakang tembok

$$\Delta K_{aG} = K_{aG} - K_a .$$

dimana ,

K_a = Koefisien tekanan tanah aktif

KaG = Koefisien tekanan tanah aktif dinamik

$$\Delta P_G = \frac{\gamma H^2}{2} \Delta K_{aG} B$$

dimana ,

ΔP_G = Gaya tekanan tanah dinamik akibat gempa

ΔK_{aG} = Tambahan koefisien tekanan tanah dinamik

γ = Berat jenis tanah (kN/m³)

H = Tinggi tembok penahan (m)

B = Lebar dinding penahan (m)

2.5 Perencanaan Bangunan Atas

2.5.1 Plat Lantai Kendaraan

Perencanaan awal pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai dengan RSNI T-12-2004 Pasal 5.5.2 adalah sebagai berikut :

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

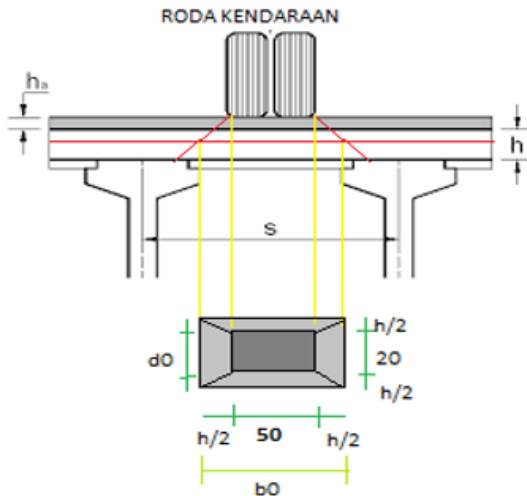
$$t_s \geq (100 + 0,40 \cdot L) \text{ mm}$$

dimana ,

t_s = Tebal plat lantai kendaraan (mm)

L = Jarak antar girder (mm)

Perencanaan pelat lantai kendaraan harus di kontrol dengan geser pons, seperti berikut :



Gambar 2. 171 Kontrol geser pons

$$V_u > P_u \text{ truck}$$

$$\begin{aligned} b_0 &= a + (2 \times t_a) + h \\ d_0 &= b + (2 \times t_a) + h \\ b' &= (2 \times u) + (2 \times v) \\ A_{\text{pons}} &= b' \times d \\ P_u \text{ truck} &= (1 + DLA) \times T_u \times K_u T T \\ V_c &= 1/6 \times \sqrt{f_c'} \times b' \times d \\ V_u &= \phi \times V_c \end{aligned}$$

Dimana ,

$$\begin{aligned} b_0 &= \text{Panjang efektif dari keliling kritis (mm)} \\ d_0 &= \text{Lebar efektif dari keliling kritis (mm)} \\ h &= \text{Tebal plat lantai kendaraan (mm)} \\ t_a &= \text{Tebal lapisan aspal dan overlay (mm)} \\ A_{\text{pons}} &= \text{Luas penampang kritis (mm)} \end{aligned}$$

2.5.2 Gelagar

Perencanaan awal gelagar sesuai dengan **BMS,BDM halaman 4-5**

Tabel 2.10 Dimensi Gelagar Beton Bertulang

Jenis Unsur	Tinggi Nominal
Gelagar Beton Bertulang	$D \geq 165 + 0,06L$
Catatan : 1. Tinggi pelat menerus adalah 90% dari tinggi bentang sederhana diatas 1. D dan L dalam mm	

Dimana : L = panjang jembatan tiap bentang

Penentuan dimensi tinggi gelagar rencana yaitu :

$$D \geq 165 + 0,06L$$

Untuk penentuan lebar bagian bawah gelagar untuk pelat lantai tidak menerus menggunakan :

$$t \leq 0,5 \times b_w$$

Dimana :

t = tebal plat lantai

b_w = lebar bagian bawah gelagar

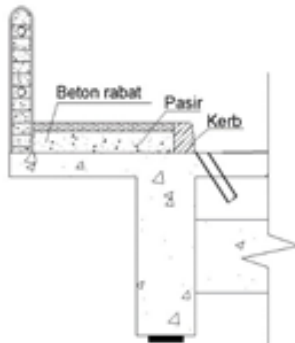
Untuk menentukan lebar efektif pada pelat lantai tidak menerus menggunakan :

$$b_E \leq 4 b_w$$

Dimana :

b_E = lebar efektif (lebar bagian atas gelagar)

b_w = lebar bagian bawah gelagar



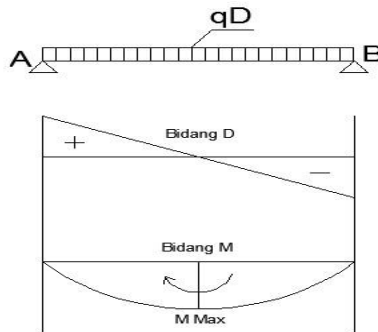
Gambar 2.22 Permodelan gelagar tepi

1. Beban yang terjadi pada gelagar tepi, yaitu :
 - a. berat sendiri gelagar = $b \times h \times \gamma$ beton
 - b. q mati plat tepi trotoir = $(t \text{ rabat} \times l \times \gamma \text{ beton})$

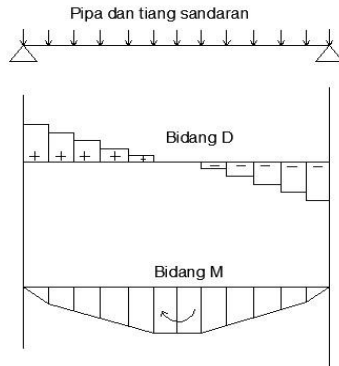
Dari beban – beban diatas maka akan didapat qD total maka:

$$qDL = (qD_{\text{total}}) T/m$$

Dari hasil qDL total diatas, maka dapat dicari momen qDL yang bekerja maksimum. Dandari data tersebut dapat dihitung untuk gaya dalam (bidang D) dan momen (bidang M), sebagai berikut :



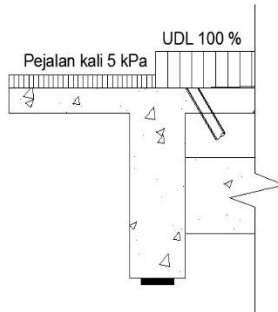
Gambar 2.23 Bidang D dan M girder



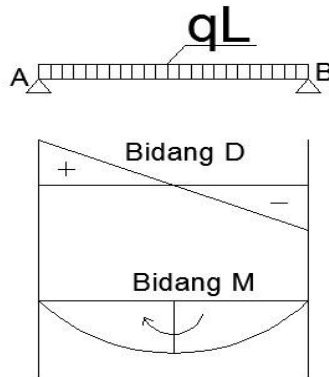
Gambar 2.24 Bidang D dan M akibat beban diafragma

c. Beban Hidup Pada Gelagar Tepi

Beban hidup balok memanjang berupa beban D dan T yang bergantung pada lebarnya jalur kendaraan, untuk lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban D harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100%, dan apabila lebih besar dari 5,5 m beban D harus ditempatkan pada jalur lalu-lintas rencana yang berdekatan dengan intensitas yang tercantum pada ***SNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan***, sedangkan sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50% seperti tercantum pada ***SNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan***. 100 % beban UDL, $q = 0,8 \text{ T/m}$ untuk $L < 30 \text{ m}$



Gambar 2.25 Beban hidup gelagar tepi



Gambar 2.26 Bidang D dan M akibat beban hidup merata gelagar tepi

d. Beban hidup terpusat

Beban hidup pada gelagar yang bekerja terpusad adalah "BGT". Beban garis (BGT) sebesar P kN/m ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu

lintas. (berdasarkan *SNI T - 02 - 2005 Standar Pembebanan Jembatan*).

2. Penulangan pada gelagar tepi :

Berdasarkan buku beton bertulang susunan *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, dalam memeriksa penampangbalok harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_n &> M_u \\ \phi M_n &> M_u \end{aligned}$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi akibat kesalahan dalam perkerasan

M_n = momen nominal dari penampang

M_u = momen batas terfaktor

Berdasarkan buku beton bertulang, *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, faktor ϕ bermacam-macam tergantung pada perilaku maupun jenis elemen strukturnya. Faktor reduksi kekuatan terhadap lentur yaitu 0,9.

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} \text{ kNm}$$

Berdasarkan buku beton bertulang *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, letak garis netral (x) saat kondisi *balanced*, yaitu :

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

Dimana :

ρ_b = Kondisi berimbang

f_y = Mutu baja (MPa)

β_1 = faktor garis netral (0,85)

f_c' = mutu beton (MPa)

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

Dimana :

ρ_b = dari hasil nilai hitungan diatas

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_y}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d}$$

Dimana :

R_n = Kuat rencana

M_n = momen nominal dari penampang

ϕ = 0,8

b = Jarak antar girder

d = tinggi bersih

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

kontrol : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

Luas tulangan yang diperlukan(A_{st}) = $\rho \times b \times d$

Dimana :

ρ = didapat dari hasil kontrol diatas

b = jarak antar gelagar as ke as

d = tebal efektif

$$n_t = \frac{A_s}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

Dari hasil n_t akan didapat jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$x = \frac{a}{0,8}$$

Dimana dari hasil x dapat menentukan letak garis netral

Kontrol : $M_n \text{ ada} > M_n \text{ perlu}$

$$M_n \text{ ada} = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ kNm}$$

- Penentuan gelagar T asli atau T palsu

Dinyatakan gelagar T tersebut palsu apabila garis netral berada dalam flens Sedangkan gelagar tersebut T asli apabila garis netral berada di luar flens.

- Alur penulangan geser
- a) Menentukan gaya lintang maksimum

$$V_u = V \text{ beban mati} + V \text{ beban hidup} + V \text{ BGT}$$

$$V^* = \frac{Vu}{K_{CR}}$$

- b) Menghitung batas kehancuran badan

$$V_{maks} = 0,2 \times f_c' \times b \times d$$

- c) Menghitung bagian beton terhadap kekuatan geser (V_{uc})

$$V_{uc} = \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \times b_w \times \text{balok} \times d \times \left(\frac{A_{st} \cdot f_c'}{b_w \text{ balok} \times d} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\beta_1 = 1,4 \left(\frac{d}{2000} \right) \geq 1,1$$

$$\beta_2 = 1,0$$

$$\beta_3 = 1,0$$

$$d = b - \text{decking} - \frac{\text{\textit{\text{Ø}tulangan pembagi}}}{2}$$

$$A_v = 2 A_s$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c' \times b \times d}$$

$$\text{jarak sengkang, } S = \frac{A_v \times f_y \times d}{\frac{V_u}{\phi} - V_c}$$

- d) Kuat geser minimum

$$V_{umin} = V_{uc} + (0,6 \times b \times d)$$

e) Lakukan Kontrol

$$V_u \leq K_C^R \times V_u \text{ min}$$

Apabila terpenuhi maka tulangan geser tidak diperlukan, akan tetapi apabila :

$$V_u \geq K_C^R \times V_u \text{ min}$$

Maka harus dihitung kekuatan geser yang akan dipikul

1. Beban yang terjadi pada gelagar tengah yaitu :
- a. Beban mati merata (qD) berasal dari :

berat sendiri balok gelagar	=	b x h x γ beton
q mati pelat tengah	=	
qD total	=t/m

Dari hasil qDL total diatas, maka dapat dicari momen qDL yang bekerja pada tumpuan dan lapangan. maka dari hasil itu dapat dihitung untuk gaya dalam (bidang D) dan momen (bidang M), sebagai berikut :

- b. Beban Hidup Pada Gelagar Tengah :

Beban hidup balok memanjang berupa beban D dan T yang bergantung pada lebarnya jalur kendaraan, untuk lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban D harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100%, dan apabila lebih besar dari 5,5 m beban D harus ditempatkan pada jalur lalu-lintas rencana yang berdekatan dengan intensitas yang tercantum pada SNI T-02 -2005 Standar Pembebanan Jembatan, sedangkan sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50%

seperti tercantum pada ***SNI T-02 -2005 Standar Pembebanan Jembatan***

100% beban UDL, $q = 0,8 \text{ T/m}^2$ untuk $L < 30 \text{ m}$

$$\text{Beban UDL } 100\% = (q \text{ UDL} \times l)$$

c. Beban hidup merata :

Dari hasil beban struktur maka dapat dihitung gaya dalam (bidang D) dan momen (bidang M), sebagai berikut :

d. Beban hidup terpusat :

Beban hidup pada gelagar yang bekerja terpusat adalah “BGT”. Beban garis (BGT) sebesar $P \text{ kN/m}$, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas. (berdasarkan ***SNI T-02 -2005***).

$$\text{Beban BGT, } P = 4,9 \text{ T/m}$$

$$\text{Beban BGT} = (P \text{ BGT} \times l) \cdot 2.6.47$$

Dari hasil beban struktur maka dapat dihitung gaya dalam (bidang D) dan Momen (bidang M), sebagai berikut :

$$M \text{ maks akibat KEL} = P \times l$$

$$\text{Total M hidup} = M \text{ maks beban merata} + M \text{ maks beban terpusat}$$

Kombinasi :

$$M = (M \text{ mati total} \times K_uMS) + (M \text{ hidup} \times K_uTP)$$

Penulangan pada gelagar tengah

b. Alur penulangan lentur

Berdasarkan buku beton bertulang susunan *SNI T-12-2004 Struktur Beto Jembatan*, dalam memeriksa penampang balok harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$M_n > M_u$$

$$\phi M_n > M_u$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi akibat kesalahan dalam perkerasan

M_n = momen nominal dari penampang

M_u = momen batas terfaktor

Berdasarkan buku beton bertulang, *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, faktor ϕ bermacam-macam tergantung pada perilaku maupun jenis elemen strukturnya. Faktor reduksi kekuatan terhadap lentur yaitu 0,9.

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} \text{ kNm}$$

Berdasarkan buku beton bertulang *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, letak garis netral (x) saat kondisi *balanced*, yaitu :

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

Dimana :

ρ_b = Kondisi berimbang
 f_y = Mutu baja (MPa)
 β_1 = faktor garis netral (0,85)
 f_c' = mutu beton (MPa)

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

Dimana :

ρ_b = dari hasil nilai hitungan diatas

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Dimana :

F_y = mutu baja (Mpa)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_y}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

Dimana :

R_n = Kuat Rencana
 M_n = Momen nominal dari penampang
 \emptyset = 0,8
 b = Jarak antar girder
 d = Tinggi bersih

$$\rho = \frac{K_{CR} \cdot fy - \sqrt{(K_{CR} \cdot fy)^2 - 2,4 K_{CR} \left(\frac{M^*}{bd^2} \right) \left(\frac{fc^2}{fc'} \right)}}{1,2 K_{CR} \left(\frac{fy^2}{fc'} \right)}$$

kontrol : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

c. Luas tulangan yang diperlukan (Ast) = $\rho \times b \times d$

Dimana :

ρ = didapat dari hasil kontrol diatas

b = jarak antar gelagar as ke as

d = tebal efektif

$$nt = \frac{As}{\frac{1}{4}\pi l^2}$$

Dari hasil nt maka akan didapat jumlah tulangan yang dibutuhkan.

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \text{ mm}$$

$$x = \frac{a}{0,8}$$

Dimana dari hasil x dapat menentukan letak garis netral

Kontrol : $Mn_{ada} > Mn_{perlu}$

$$Mn_{ada} = As \cdot Fy \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ kNm}$$

d. Penentuan gelagar T asli atau T palsu

Dinyatakan gelagar T tersebut palsu apabila garis netral berada dalam flens. Sedangkan gelagar tersebut T asli apabila garis netral berada di luar flens.

- e. Alur penulangan geser
- Menentukan gaya lintang maksimum

$$V_u = V \text{ beban mati} + V \text{ beban hidup} + V \text{ BGT}$$

$$V^* = \frac{V_u}{K_{CR}}$$

- Menghitung batas kehancuran badan

$$V_{umaks} = 0,2 \times f_c' \times b \times d$$

- Menghitung bagian beton terhadap kekuatan geser (V_{uc})

$$V_{uc} = \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \times b_{wbalok} \times d \times \left(\frac{A_{st}.f_c'}{b_{wbalok} \times d} \right)$$

$$\beta_1 = 1,4 \left(\frac{d}{2000} \right) \geq 1,1$$

$$\beta_2 = 1,0$$

$$\beta_3 = 1,0$$

$$d = b - \text{decking} - \phi_{tulangan \text{ pembagi}} - \frac{\phi_{tulngan \text{ lentur}}}{2}$$

$$A_v = 2 A_s$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c' \times b \times d}$$

$$\text{jarak sengkang, } S = \frac{A_v \times f_y \times d}{\frac{V_u}{\phi} - V_c}$$

- Kuat geser minimum

$$V_{\min} = V_{uc} + (0,6 \times b \times d)$$

- Lakukan Kontrol

$$V_u \leq K_C^R \times V_{u \min}$$

Apabila terpenuhi maka tulangan geser tidak diperlukan, akan tetapi apabila :

$$V_u \geq K_C^R \times V_{u \min}$$

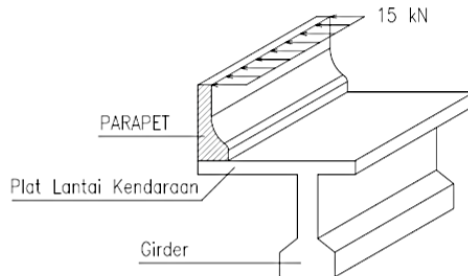
Maka harus dihitung kekuatan geser yang akan dipikul

2.5.3 Diafragma

Perletakan balok diafragma dianggap jepit – jepit. Beban yang terjadi, yaitu :

- Beban mati merata :
Beban sendiri Diafragma = $b \times h \times \gamma$ beton
- Kombinasi = (Momen mati x K_{uMS}) + (Momen Hidup x K_{uTP})

2.5.4 Parapet Jembatan



Gambar 2. 187 Komponen Parapet Jembatan

Pada tugas akhir ini, sandaran jembatan menggunakan parapet sebagai dinding penahan kendaraan, karena Jembatan Kartoharjo merupakan bagian dari Jalan Tol Solo - Kertosono Paket NK1 sehingga tidak terdapat kerb dan trotoar. Parapet direncanakan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan (fungsi kerb) sehingga beban hidup yang digunakan dalam perencanaannya adalah memakai beban hidup kerb, yaitu sebesar 15 kN.m.

2.5.5 Perletakan

Berdasarkan pedoman yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang berjudul *Perancangan Banatalan Elastomer Untuk Perletakan Jembatan* perletakan jembatan merupakan salah satu komponen dalam struktur jembatan yang berfungsi sebagai media penyalur beban antara bangunan atas dan bangunan bawah. Oleh karena itu, perletakan harus dirancang untuk mengakomodasi perputaran dan dapat memberikan perpindahan tertentu. Perletakan yang

akan dipakai dalam perencanaan ini adalah perletakan bearing pad.

Perhitungan Perencanaan Bantalan Elastomer Berlapis. Luas area elastomer yang diperlukan :

$$A \text{ perlu} > \frac{(P_{DL} + P_{LL})}{\sigma_s}$$

Dimana :

A = luas keseluruhan (bonded)

P_{DL} = beban mati rencan (N)

P_{LL} = beban hidup rencan (N)

σ_s = tegangan rata – rata akibat beban total (Mpa)

Asumsikan dimensi – dimensi dalam perletakan elastomer berdasarkan perhitungan luas yang telah di hitung di no.1

Hitung shape facktor / faktor bentuk

$$S = \frac{A}{I_p \cdot h_{ri}}$$

$$I_p = 2(L + W)$$

Dimana :

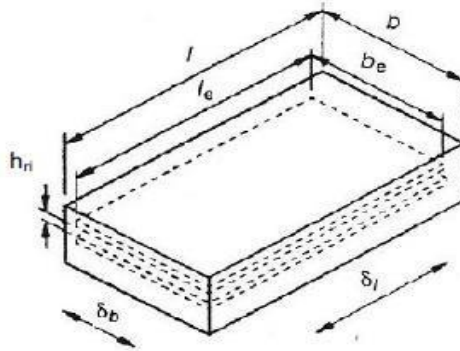
S = faktor bentuk

A = luas keseluruhan (bonded surface area) (mm²)

I_p = keliling elastomer, termasuk lubang (bonded surface perimeter)(mm)

h_{ri} = ketebalan efektif karet pada lapisan antara (internal layer) (mm)

I = panjang efektif keseluruhan elastomer (mm)



Gambar 2. 28 Bearing pad

Faktor bentuk S harus berada dalam batas berikut ini :

Untuk banalan polos $1 < S < 4$

Untuk bantalan tipe berlapis $1 < S < 12$

a. Cek tegangan izin

$$\sigma_s = \frac{(P_{LL} + P_{LL})}{A}$$

$$\sigma_L = \frac{P_{LL}}{A}$$

Dimana :

A = luas keseluruhan (bonded surface area) (mm²)

PDL = beban mati rencana (N)

PLL = beban hidup rencana (N)

ss = tegangan rata-rata akibat beban total (Mpa)

sL = tegangan rata-rata akibat beban hidup (Mpa)

Terlepasnya elastomer dari pelat penguatnya dapat dicegah dengan menggabungkan batasan tekan yang dipenuhi berdasarkan persamaan berikut:

$$ss = 7 \text{ Mpa}$$

$$ss = 1,0 \text{ GS}$$

Keterangan :

G = modulus geser elastomer

S = faktor bentuk

s = tegangan rata-rata akibat beban total (Mpa)

b. Cek deformasi geser

$$hrt = (\text{jumlah tebal lapisan internal} + \text{jumlah tebal cover})$$

$$hrt = 2 \Delta s$$

Dimana :

hrt = ketebalan total elastomer

Δs = deformasi geser rencana

c. cek rotasi

$$\sigma_s = 0,5 G \cdot S \left(\frac{L}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_{s,y}}{n}$$

$$\sigma_s = 0,5 G \cdot S \left(\frac{W}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_{s,y}}{n}$$

Keterangan :

n = jumlah lapisan internal karet

G = modulus geser elastomer (Mpa)

$\theta_{s,x}$ = maksimum perputaran pada setiap sumbu (rad)

S = faktor bentuk

h_{ri} = ketebalan lapisan internal (mm)

W = lebar dari bantalan elastomer (tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan) (mm).

L = panjang dari bantalan elastomer (sejajar dengan sumbu) memanjang jembatan) (mm).

d. Cek stabilitas

$$H \leq \frac{L}{3}$$

$$H \leq \frac{W}{3}$$

$$h_{cover} < 0,7 h_{ri}$$

keterangan :

H = tinggi dari bantalan elastomer

L = panjang dari bantalan elastomer (sejajar dengan sumbu)

W = lebar dari bantalan elastomer (tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan) (mm).

h_{ri} = ketebalan lapisan internal (mm)

e. Menentukan tebal pelat

$$h_s \leq \frac{3 \cdot h_{rmax} \cdot \sigma_L}{f_y}$$

Keterangan :

h_{rmax} = ketebalan maksimum lapisan elastomer pada bantalan elastomer (mm)

h_s = ketebalan lapisan plat pada elastomer berlapis plat (mm)

f_y = batas ulur dari pelat baja yang digunakan (MPa)

F_{TH} = batas fatik (*constant amplitude fatigue threshold*) yang digunakan (MPa)

s_S = tegangan rata-rata akibat beban total (MPa)

s_L = tegangan rata-rata akibat beban hidup (MPa)

2.6 Perencanaan Bangunan Bawah







2.6.1 Abutment

Desain awal kepala jembatan secara umum harus disesuaikan dengan jenis pondasi yang digunakan dan ketinggian dari jembatan yang direncanakan. Jika pemilihan telah dilakukan maka dapat dilihat cara pendesainan pada BMS BDM 1992 hal 328 sampai 3-41. Seperti yang telah disebutkan beban yang diterima kepala jembatan antara lain beban bangunan atas dan tekanan tanah. Tekanan tanah aktif merupakan tekanan tanah yang membebani dinding penahan tanah dengan arah horizontal apabila dinding penahan tanah digerakkan ke arah tanah timbunan di bagian belakang maka tekanan tanah akan meningkat perlahan – lahan sampai mencapai suatu harga tetap. Tekanan tanah pasif mempunyai tegangan horizontal yang arahnya berlawanan dengan tekanan tanah aktif .

Pada tanah dibagian belakang dinding penahan harus diperhitungkan ada beban tambahan yang bekerja akibat beban lalu lintas di atas tanah, besar beban lalu lintas tersebut setara dengan tanah setebal 0,6 m yang bekerja secara manual pada bagian tanah yang dilewati

oleh beban lalu lintas tersebut (BMS BDC 1992, hal 2-18). Untuk perencanaan awal bentuk dan dimensi pangkal / kepala jembatan menggunakan acuan BMS BDM 1992 3.1.2 (vol 1) yaitu pangkal tembok penahan karena timbunan jalan tertahan dalam batas – batas pangkal dengan tembok penahan yang didukung oleh pondasi.

Tabel 2. 17 Jenis tipikal pangkal Jembatan

JENIS PANGKAL	TINGGI PANGKAL (m)			
	0	10	20	30
PANGKAL TEMBOK PENAHAN GRAVITAS 	3.4			
PANGKAL TEMBOK PENAHAN KANTILEVER 	8			
PANGKAL TEMBOK PENAHAN KONTRAFORT 	6.8			
PANGKAL KOLOM 'SPILL-THROUGH' 				
PANGKAL BALOK CAP TIANG BERTUMPAH 				
PANGKAL TANAH BERTULANG 	5	15		

Abutmen atau pangkal jembatan tentunya harus dilengkapi dengan bangunan pelengkap, meliputi :

2.6.1.1 Wingwall

Wing wall berfungsi untuk menjaga agar tanah timbunan yang berada di belakang abutment tidak longsor jika terdapat beban lalu lintas. Dimensi permulaan untuk wing wall sesuai dengan BMS BDM 1992 hal 3-31 adalah untuk lebar tembok sayap diambil sebesar $1/20$ tinggi tembok sayap atau minimal 200 mm. Untuk pembebanan tembok sayap diasumsikan bahwa tembok sayap dibebani oleh gaya

horizontal tegak lurus terdapat dinding. (BMS BDC, Pasal 6.9 hal 6-69)

2.6.1.2 *Plat Injak*

Sesuai dengan BMS BDM 1992 hal 3-31 untuk dimensi permulaan plat injak dapat diambil sebesar 3000 mm dan setebal 200 mm. Lebar plat injak disesuaikan dengan kelas jembatan tetapi umumnya digunakan lebar jalan kendaraan dengan kebebasan 600 mm terdapat tembok – tembok sayap.

a. Kontrol stabilitas abutment

Kontrol geser abutment Menurut BMS pasal 9.2 tahanan lateral total adalah akibat kombinasi ketahanan geser dibawah pondasi dan ketahanan pasif pada sisi pondasi dan bangunan bawah. Faktor keamanan terhadap gerakan lateral dikontrol terhadap

$$SF = \frac{\sum \text{Tahanan lateral ultimit}}{\sum \text{Gaya lateral ultimit}} \geq 1.10$$

- Tahanan lateral ultimit tanah tidak kohesif
 - $R_s = P_o \times \tan \delta_o$
 - $R_s = \text{Tahanan tanah}$
 - $P_o = \text{Beban vertical tegak lurus terhadap dasar pondasi dikurangi untuk memperhitungkan daya angkat}$
 - $(\delta_o) = \text{Sudut geser tanah}$
 - $\Delta o = \text{nilai rencana dari geser antara dasar pondasi dan tanah ;}$
 - $= \emptyset \text{ untuk beton cor ditempat}$
 - $= 2/3 \emptyset \text{ untuk pondasi beton pracetak yang halus}$
- Tahanan lateral ultimit tanah kohesif
 - $R_s = 0.4 \times A_{\text{eff}} \times C_u'$

R_s	= Tahanan lateral ultimit
(\emptyset)	= Sudut geser tanah
(C_u)	= Nilai kohesi tanah
(C_u')	= Nilai kohesi tanah yang direduksi = $K_{rc} \times C_u$
(A_{ef})	= Luas bidang kontak efektif = $B_{eff} \times L_{eff}$
C_u'	= $K_{rc} \times C_u$

Tabel 2. 18 Faktor Reduksi

Parameter	Notasi	Faktor reduksi
Faktor reduksi kohesi	K_{rc}	0.70
Faktor reduksi sudut geser	$K_{r\emptyset}$	0.80

- Gaya lateral ultimit

H	= tinggi tanah timbunan
(\emptyset)	= Sudut geser tanah
$h(\emptyset')$	= Sudut geser tanah yang direduksi = $\arctan \times k_{r\emptyset} \times \tan \emptyset$
K_a	= koefisien tekanan tanah

$$K_a = \frac{1 - \sin \emptyset'}{1 + \sin \emptyset'}$$

Tabel 2. 19 faktor beban menurut BMS 1992 pasal 9.2 9-7

	Faktor beban	
	mengurangi	biasa
Berat bangunan atas (baja)	0.9	1.1
Bang.bawah (beton cor tempat)	0.75	1.3
Beban tanah	0.8	1.25
Tekanan tanah aktif	0.8	1.2
Tekanan tanah pasif	0.8	1.25

Kontrol guling abutment

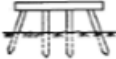





Menurut BMS pasal 9.3 tahanan guling di kontrol dengan $SF \geq 1.10$ dengan membandingkan gaya yang menyebabkan guling terhadap gaya yang menahan guling. Faktor keamanan terhadap guling dikontrol terhadap :

$$SF = \frac{\sum. \text{Momen penahan ultimit}}{\sum. \text{Momen penyebab guling ultimit}} \geq 1.10$$

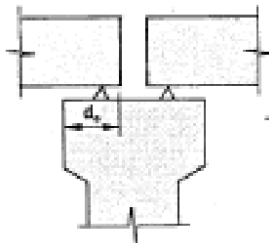
2.6.2 Pilar

Secara umum fungsi pilar adalah sama dengan kepala jembatan. Perencanaan awal untuk pilar dalam aliran sungai harus dipancang kecuali bila pondasi dapat ditanam ke dalam batuan utuh dan diusahakan balok cap ditempatkan dibawah kedalaman gerusan yang diharapkan atau seluruhnya diatas muka air banjir dengan tebal balok cap tidak kurang dengan 1000 mm dengan posisi deragam sepanjang pilar. Bila berada dalam aliran sungai maka terdapat beban akibat aliran sungai dimana besar beban tersebut tergantung pada kecepatan rencana aliran sungai yang ada pada lokasi (BMS BDM hal 2-23), selain itu beban akibat hanyutan dan tumbukan batang kayu harus diperhitungkan (BMS BDM hal 2-24)

Tabel 2. 20 Jenis – jenis pilar dalam perencanaan

JENIS PILAR		TINGGI TIPIKAL (m)			
		0	10	20	30
PILAR BALOK CAP TIANG SEDERHANA Dua baris tiang adalah umurnya minimal					
PILAR KOLOM TUNGGAL Diarutkan kolom sirkuler pada aliran arus.			5	15	
PILAR TEMBOK Ujung bundar dan alinemen tembok sesuai arah aliran membantu mengurangi gaya aliran dan geseran lokal.			5		25
PILAR PORTAL SATU TINGKAT (KOLOM GANDA ATAU MAJEMUK) Diarutkan kolom sirkuler pada aliran arus. Pemisahan kolom dengan 20 atau lebih membantu kalancaran aliran arus.			5	15	
PILAR PORTAL DUA TINGKAT				15	25
PILAR TEMBOK - PENAMPANG I Penampang ini mempunyai karakteristik tidak baik terhadap aliran arus dan diartikan untuk penggunaan didarat.					25

Pada pilar jembatan bangunan atas tidak direncanakan agar menerus atau dihubungkan, peraturan memberi persyaratan jarak lebih minimum antara ujung gelagar dan tepi perletakan yang harus diadakan seperti gambar berikut : (BMS BDM 1992 4.2.6) (Vol 1)



Gambar 2. 19 Jarak minimum ujung Girder dengan tumpuan

$$d_0 = 0,7 + 0,005 S ; \text{ untuk } S < 100 \text{ m}$$

$$d_0 = 0,8 + 0,004 S ; \text{ untuk } S > 100 \text{ m}$$

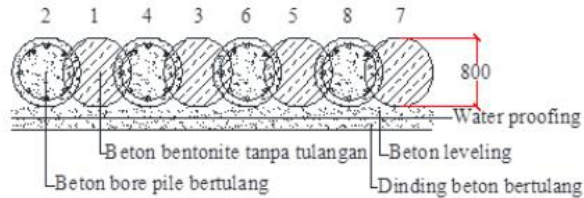
Keterangan :

d_0 = Jarak lebih minimum antara ujung gelagar dan tepi perletakan (m)

S = Panjang bentang (m)

2.6.3 Secant Pile (Dinding Bored Pile)

Pada dasarnya tiang bor atau Bored Pile, digunakan untuk mengistilahkan tiang pondasi yang dicor di tempat (*cast in place pile*) dengan cara mengebor lubang kemudian mengecornya dengan beton. Pada umumnya tiang bor berdiameter diatas 750 mm.



Gambar 2. 20 Secant Pile

Perhitungan daya dukung tiang didasarkan pada dua hal, yaitu tahanan ujung tiang (end bearing capacity) dan tahanan gesekan tiang (friction bearing capacity).

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

dengan:

Q_u = kapasitas tiang ultimit (maksimal),

Q_p = kapasitas ujung tiang,

Q_s = kapasitas gesekan tiang.

- a. Kontrol Kedalaman Dinding Berdasarkan Hydrodynamic
Kedalaman yang aman terhadap hydrodynamic berarti konstruksi dinding aman pada saat proses penggalian, sehingga nantinya aliran air tanah tidak akan menjadi masalah yang serius dan penggalian aman dilakukan.

$$i_{\text{exit}} \times 1.2 < i_{\text{critical}} \\ \frac{\Delta h}{Dc} \times 1.2 < \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

Dengan :

Δh = Perbedaan tinggi muka air tanah dengan dredge line,

Dc = Kedalaman aman berdasarkan hydrodynamic,

γ' = Berat jenis efektif tanah,

γ_w = Berat jenis air.

- b. Kontrol Terhadap Uplift

Adanya beban uplift dan air tanah mengakibatkan konstruksi terkena bahaya beban angkat keatas. Untuk itu dilakukan analisa antara kesetimbangan beban dengan uplift, sebagai berikut :

$$F_u = \gamma_w \cdot h_w \cdot A$$

$$SF = \frac{W_{struktur}}{F_u} > 1,2$$

dengan:

F_u = gaya uplift

γ_w = berat jenis air

h_w = tinggi air

A = luas pelat

Perhitungan kedalaman secant pile berdasarkan $\sum M = 0$.

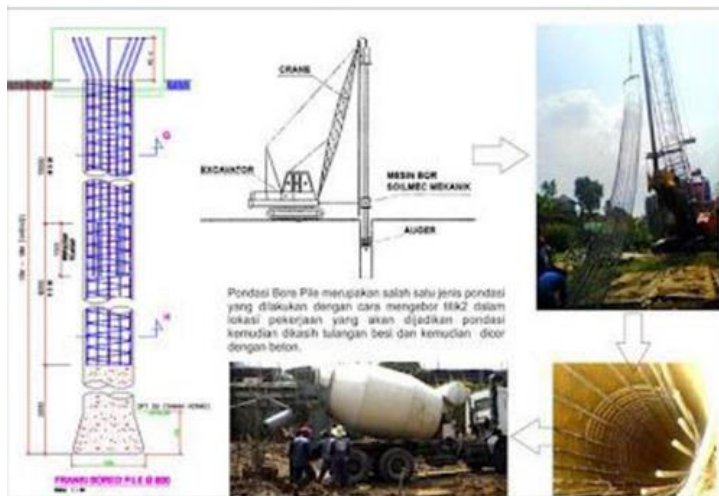
2.6.4 Pondasi Bored Pile

Pemilihan pondasi yang akan digunakan harus bersumber pada data hasil penyelidikan tanah . Untuk mengetahui hasil penyelidikan tanah maka data tanah dapat berupa data SPT maupun data property tanah itu, guna mengetahui letak tanah keras. Setelah mengetahui letak tabah keras tersebut maka bisa dipilih tipe pondasi yang akan digunakan, untuk letak tanah keras yang lebih dari 10 meter maka dipilih jenis pondasi dalam sehingga beban dapat disalurkan ke tanah keras.

Pondasi berfungsi untuk meneruskan / mendistribusikan beban dari super struktur ke tanah agar keseluruhan bangunan dapat berdiri kokoh di atas tanah. Sedangkan pondasi bored pile digunakan untuk menjaga kestabilan lereng dinding penahan tanah termasuk pada pondasi bangunan ringan yang dibangun di atas tanah lunak serta struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar. Pondasi bored pile digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15 m. Pondasi tiang suatu konstruksi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat dengan satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi (Nakazawa. K, 1983). Perencanaan pondasi bored pile mencakup rangkaian kegiatan yang dilaksanakan dengan berbagai tahap yang meliputi studi kelayakan dan perencanaan teknis, semua itu dilakukan supaya menjamin hasil akhir suatu konstruksi yang kuat, aman serta ekonomis.

Daya dukung bored pile diperoleh dari daya dukung ujung (end bearing capacity) yang diperoleh dari

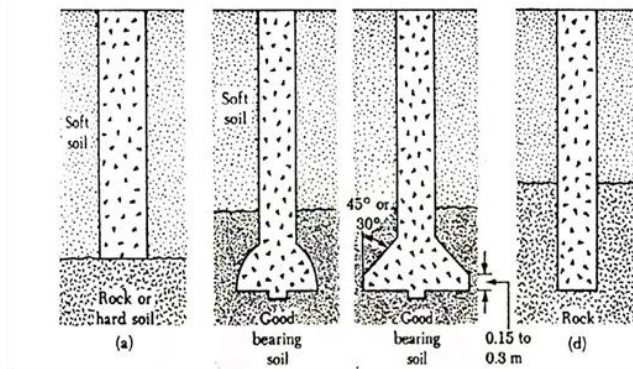
tekanan ujung tiang dan daya dukung geser yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara bored pile dan tanah disekelilingnya. Bored pile berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Ada dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan kapasitas daya dukung bored pile yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik keatas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan daya dukung ujung tiang.



Gambar 2. 21 Pondasi Bored Pile

Ada berbagai jenis pondasi bore pile yaitu:

1. Bore pile lurus untuk tanah keras
2. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
3. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapezium
4. Bore pile lurus untuk tanah berbatu-batuan.



Gambar 2. 22 Jenis - jenis Bored Pile

a. Daya Dukung Pondasi Bored Pile

Untuk menentukan daya dukung suatu tiang pancang berdasar hasil data SPT maka dapat menggunakan rumus:

b. Daya Dukung Ujung Tiang Pancang

Daya dukung ultimit pada ujung bored pile dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_p = q_p \cdot A$$

Dimana :

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)

q_p = tahanan ujung per satuan luas (ton/m²)

A = luas penampang bored pile (m²)

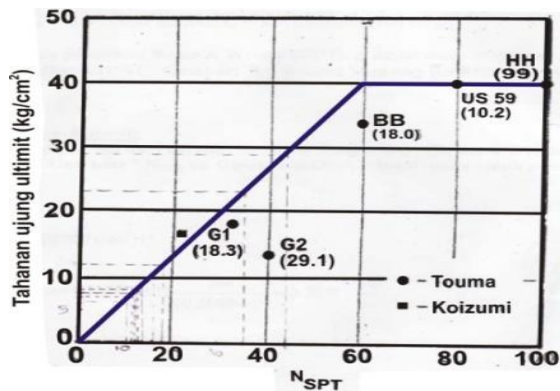
Pada tanah kohesif besar tahanan ujung per satuan luas (q_p) dapat diambil sebesar 9 kali kuat geser tanah. Sedangkan pada tanah non kohesif, Reese mengusulkan korelasi antara q_p dengan N_{SPT} .

Untuk tanah kohesif :

$$q_p = 9 \cdot C_u$$

$$C_u = \frac{2}{3} \cdot N - SPT \cdot 10$$

Reese & Wright mengusulkan korelasi antara q_p dan N_{SPT} seperti terlihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 2. 23 Daya dukung ujung batas bored pile pada tanah pasir (Reese & Wright)

Dimana :

Untuk $N < 60$ maka $q_p = 7N \text{ (t/m}^2\text{)} < 400 \text{ (t/m}^2\text{)}$

Untuk $N > 60$ maka $q_p = 400 \text{ (t/m}^2\text{)}$

N adalah nilai rata – rata SPT

Untuk tanah non kohesif rumus yang digunakan adalah

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$= 7N \cdot A_p$$

$$\text{Dimana, } N = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

c. Daya Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang pada tanah homogen dapat dituliskan dalam bentuk :

$$Q_s = f_s \cdot l \cdot p$$

Dimana :

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

f_s = gesekan selimut tiang (ton/m²)

l = panjang tiang (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Bila bored pile terletak pada tanah yang berlapis, maka formula tersebut dapat dimodifikasi sebagai berikut :

$$Q_s = \sum f_s \cdot l \cdot p$$

Dimana :

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

f_s = gesekan selimut tiang (ton/m²)

l = panjang tiang (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Nilai L dan p untuk perhitungan diatas diperoleh dari data tiang yang akan digunakan, sedangkan untuk nilai f diperoleh dari perhitungan menggunakan metode Reese & Wright (1977). Gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah. Untuk tanah kohesif dan non kohesif dapat dihitung dengan menggunakan formula :

$$f = \alpha \cdot C_u$$

Dimana :

α = Faktor adhesi. berdasarkan penelitian

Resse & Wright (1977)

α = 0,55

C_u = Kohesi tanah (ton/m)

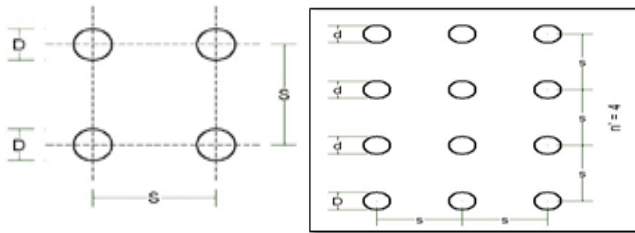
pada tanah non kohesif :

Untuk $N < 53$ maka $f = 0,32 N$ (ton/m)

Untuk $53 < N < 100$ maka f diperoleh dari korelasi langsung dengan NSPT (Resse & Wright)

d. Efisiensi Kelompok Tiang (*Group*)

1. Metode Conferse-Labare



Gambar 2. 24 Definisi Jarak s dalam Hitungan Efisiensi Tiang

dimana :

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

m = Jumlah baris tiang

D = Diameter tiang

Maka persamaannya adalah :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 mn}$$

dimana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang (%)

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

θ = Arc $\tan D/S$, dalam derajat

BAB III

METODOLOGI DESAIN

Langkah – langkah yang digunakan dalam desain struktur Jembatan Kartoharjo dalam proyek pembangunan tol Solo – Kertosono ini adalah sebagai berikut :

3.1 Studi Literatur

1. Pengumpulan data
2. Desain pendahuluan (*preliminary design*)
3. Permodelan struktur
4. Analisis Pembebanan
 - a. Beban – beban
 - b. Kombinasi pembebanan
5. Analisa gaya dalam dan perhitungan struktur
6. Cek desain
7. Gambar rencana

3.2 Uraian Metode

3.2.1 Pengumpulan Data

1. Data Primer.
 - a. Dilakukan pengamatan langsung saat melaksanakan Magang Kerja.
2. Data Sekunder.
 - a. Gambar rencana bangunan
 - b. Data tanah
 - c. Peraturan – peraturan dan buku penunjang lain sebagai dasar teori

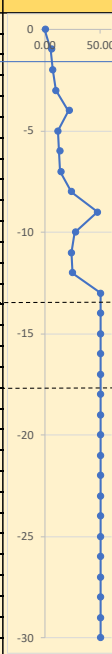
3.2.2 Kondisi Tanah

Agar dalam proses perencanaan dapat terlaksana dengan baik, maka mengetahui kelebihan dan kekurangan lokasi eksisting adalah hal yang sangat diharuskan. Adapun kondisi tanah lokasi tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 1 N-SPT Tanah asli section A

A							
Depth (m)	Description	N rata2	Grafik SPT	T/N	fi	Σ (fi li)	C
					T/M2	t/m	kN/m2
0	Silty CLAY (CH)	0.00		0.00	0	0	0
-1	Silty CLAY (CH)	6.50		0.15	3.25	3.25	4.21
-2	Silty CLAY (CH)	12.00		0.08	6	9.25	
-3	Silty Clay with some fine sand (CH)	24.00		0.04	12	21.25	3.44
-4	Silty Clay with some fine sand (CH)	20.00		0.05	10	31.25	
-5	Silty Clay with some fine sand (CH)	12.00		0.08	6	37.25	
-6	Silty Clay with some fine sand (CH)	11.00		0.09	5.5	42.75	
-7	Fine SAND (SP)	10.00		0.10	5	47.75	2.32
-8	Sandy CLAY (SC)	25.20		0.04	12	59.75	
-9	Sandy CLAY (SC)	50.00		0.02	12	71.75	2.11
-10	Silty CLAY (CH)	42.00		0.02	12	83.75	
-11	Silty CLAY (CH)	36.00		0.03	12	95.75	
-12	Silty CLAY (CH)	43.00		0.02	12	107.75	
-13	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	119.75	3.84
-14	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	131.75	
-15	Fine Sandy SILT (ML)	50.00		0.02	12	143.75	1.54
-16	SILT (ML)	50.00		0.02	12	155.75	
-17	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	167.75	
-18	Silty CLAY (CH)	50.00		0.02	12	179.75	
-19	Gravelly SAND (GP-SP)	50.00		0.02	12	191.75	
-20	Gravelly SAND (GP-SP)	50.00		0.02	12	203.75	
-21	Gravelly SAND (GP-SP)	50.00		0.02	12	215.75	
-22	Silty Clay with some fine sand (CH)	50.00		0.02	12	227.75	
-23	Silty Clay with some fine sand (CH)	50.00		0.02	12	239.75	
-24	Silty Clay with some fine sand (CH)	50.00		0.02	12	251.75	
-25	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	263.75	
-26	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	275.75	
-27	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	287.75	
-28	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	299.75	
-29	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	311.75	
-30	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	323.75	
Jumlah				1.10		323.75	

Tabel 3. 2 N-SPT Tanah asli section B

B							
Depth (m)	Jenis Tanah	N rata2	Grafik SPT	T/N	fi	Σ (fi li)	C
					T/M2	t/m	kN/m2
0	Silty CLAY (CH)	0.00		0.00	0	0	
-1	Silty CLAY (CH)	5.60		0.18	2.8	2.8	4.21
-2	Fine SAND (SP)	7.00		0.14	3.5	6.3	
-3	Fine SAND (SP)	10.00		0.10	5	11.3	3.44
-4	Fine SAND (SP)	21.30		0.05	10.65	21.95	
-5	Fine SAND (SP)	11.60		0.09	5.8	27.75	
-6	Fine SAND (SP)	13.30		0.08	6.65	34.4	
-7	Fine SAND (SP)	14.00		0.07	7	41.4	
-8	Cemented SILT (ML)	24.00		0.04	12	53.4	2.32
-9	Silty CLAY (CH)	47.00		0.02	12	65.4	
-10	Silty CLAY (CH)	27.00		0.04	12	77.4	
-11	Silty CLAY (CH)	23.70		0.04	11.85	89.25	2.11
-12	SILT with some fine clay (ML)	25.00		0.04	12	101.25	
-13	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	113.25	
-14	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	125.25	
-15	Fine Sandy SILT (ML)	50.00		0.02	12	137.25	
-16	Silty CLAY (CH)	50.00		0.02	12	149.25	3.84
-17	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	161.25	
-18	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	173.25	
-19	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	185.25	1.54
-20	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	197.25	
-21	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	209.25	
-22	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	221.25	
-23	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	233.25	
-24	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	245.25	
-25	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	257.25	
-26	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	269.25	
-27	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	281.25	
-28	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	293.25	
-29	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	305.25	
-30	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	317.25	
Jumlah				1.24		317.25	

3.3 Preliminary Design

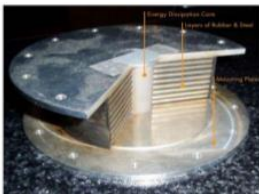
Jembatan ini kami rencanakan dengan panjang bentang 26 m (segmen samping) 8 m (segmen tengah) dan lebar xx m. Jembatan ini menggunakan dinding penahan tanah *Secant Pile* dan pondasi *Bored Pile* yang memiliki kedalaman 8 m, 18 m, dan 22 m.

3.3.1 Material

- K175 (f_c' 14.5 Mpa) : *Secant Pile*
 - K250 (f_c' 20.75 Mpa) : Parapet, Diafragma, Capping Secant Pile, dan Plat Lantai
 - K300 (f_c' 24.9 Mpa) : Girder, *Pier Head*
 - K350 (f_c' 29.05 Mpa) : *Bored Pile*
-
- $F_y = 240 \text{ Mpa}$; $F_u = 370$
 - $F_y = 320 \text{ Mpa}$; $F_u = 500$
 - $F_y = 410 \text{ Mpa}$; $F_u = 550$

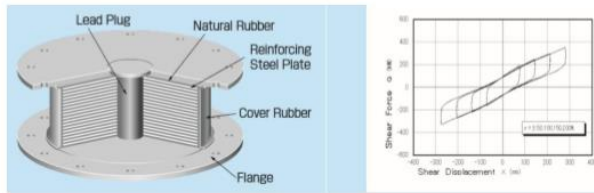
3.3.2 Elastomer (*Bearing Pad*)

Lead rubber bearing adalah laminated rubber bearing yang lebih besar terbuat dari lapisan karet dan dipadu dengan lapisan baja, tetapi ditengahnya diberi rongga yang diisi dengan lead (perunggu). Lapisan karet yang divulkanisir yang bisa bergerak ke semua arah horizontal dilaminasi diantara lapisan baja yang mampu menahan beban aksial. Lead (perunggu) yang terletak ditengah berfungsi sebagai tempat penyerapan energi sehingga



mampu mengurangi gaya gempa dan perpindahan (Dwita, 2011). Elastomer girder menggunakan acuan The ISOSISM® LRB (*Lead Rubber Bearing*) Freyssinet Group.

Gambar 3. 1 Lead Rubber Bearing (LRB) (bridgestone catalogue)



Gambar 3. 2 Bentuk LRB serta Kurva Cyclic Test untuk Shear Force vs Shear Displacement (Bridgestone Catalog)

LRB didesain sangat kaku dan kuat diarah vertikal dan lentur diarah horizontal sehingga beban vertikal dan lateral yang kecil bisa didukung tanpa menimbulkan perpindahan yang berarti. Lead mengalami kelelahan pada tegangan rendah dan berperilaku sebagai solid elastis-plastis. Kekakuan pasca kelelahan dapat direpresentasikan oleh kekakuan geser lapisan karet. Selain itu, lead memiliki properties kelelahan yang baik terhadap cyclic loading karena dapat memulihkan hampir seluruh properties mekaniknya tepat setelah terjadi kelelahan.

3.3.3 Konstanta Pegas (*Spring Constant*)

Konstanta pegas (*spring constant*) merupakan gaya dalam arah horizontal (sumbu x, sumbu y) yang menimbulkan pergeseran (*displacement*) sebesar satu satuan ton dalam arah vertikal setiap 1 meter nya pada badan tiang yang masuk kedalam tanah.

$$\begin{aligned}
 E_o &= 28 \times N \text{ (nilai } n\text{-spt)} \\
 &= 28 \times 6.50 = 182 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_o &= 0.2 \times E_o \times D^{-0.75} \\
 &= 1.69 \text{ kg/cm}^3 \quad (D = 0.6 \text{ m}) \\
 &= 1.15 \text{ kg/cm}^3 \quad (D = 1.0 \text{ m}) \\
 k &= K_o \times y^{-0.5} \quad (y = 1.0 \text{ cm}) \\
 &= 1.69 \text{ kg/cm}^3 \quad (D = 0.6 \text{ m})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.15 \text{ kg/cm}^3 & (D = 1.0 \text{ m}) \\
 \text{kV} &= K_o \times A \\
 &= 1326.10 \text{ t/m} & (D = 0.6 \text{ m}) \\
 &= 904.05 \text{ t/m} & (D = 1.0 \text{ m}) \\
 \text{kx} &= \text{ky} = \text{k} \times D \times \text{dz} \\
 &= 10130.69 \text{ kg/cm} \\
 &= 1013.07 \text{ t/m} & (D = 0.6 \text{ m}) \\
 &= 11510.69 \text{ kg/cm} \\
 &= 1151.07 \text{ t/m} & (D = 1.0 \text{ m})
 \end{aligned}$$

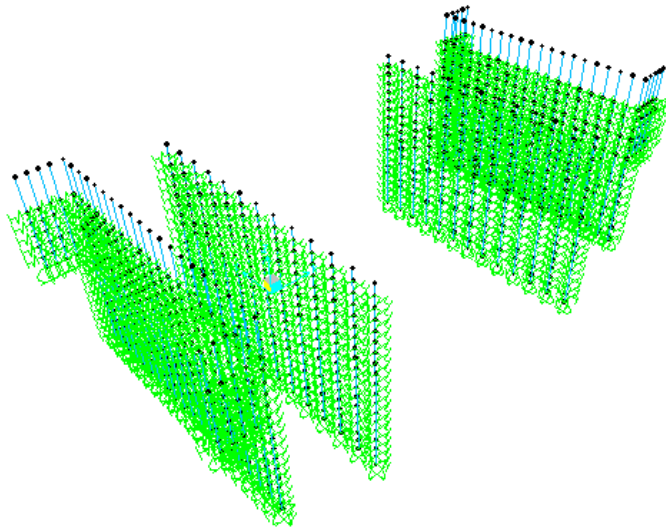
Tabel 3. 3 Resume spring constant pada tanah section A

Depth (m)	N	D = 0.60m		D = 1.00m		D = 0.60m x = 1.00m		D = 0.60m		D = 1.00m		D = 0.60m		D = 1.00m		D = 0.60m		D = 1.00m	
		Subgrade reaction ko = 0.2 En D ^{-0.5}		Subgrade reaction ko = 0.2 En D ^{-0.5}		k = ko x y ^{0.4}		k = ko x y ^{0.4}		kV = ko x A		Spring Constant ko-ky-k D dz		Spring Constant ko-ky-k D dz		kx-ky		kx-ky	
		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	ton	ton	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm
0	4.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	4.00	182	1.89	1.89	1.15	1.15	1.15	123.00	964.05	803.69	803.69	123.00	123.00	123.00	123.00	1013.07	1013.07	1013.07	1013.07
2	12.00	376	3.12	3.12	2.12	2.12	2.12	269.39	1889.09	1530.45	1530.45	269.39	269.39	269.39	269.39	1889.09	1889.09	1889.09	1889.09
3	20.00	472	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	469.79	1720.00	1720.00	1720.00	469.79	469.79	469.79	469.79	1720.00	1720.00	1720.00	1720.00
4	28.00	569	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	489.17	1751.00	1751.00	1751.00	489.17	489.17	489.17	489.17	1751.00	1751.00	1751.00	1751.00
5	12.00	376	3.12	3.12	2.12	2.12	2.12	269.39	1889.09	1530.45	1530.45	269.39	269.39	269.39	269.39	1889.09	1889.09	1889.09	1889.09
6	11.00	358	2.98	2.98	1.95	1.95	1.95	254.93	1720.00	1720.00	1720.00	254.93	254.93	254.93	254.93	1720.00	1720.00	1720.00	1720.00
7	10.00	339	2.69	2.69	1.72	1.72	1.72	240.48	1560.94	1560.94	1560.94	240.48	240.48	240.48	240.48	1560.94	1560.94	1560.94	1560.94
8	12.75	393.8	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	512.53	1821.00	1821.00	1821.00	512.53	512.53	512.53	512.53	1821.00	1821.00	1821.00	1821.00
9	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
10	12.00	1176	10.91	10.91	7.44	7.44	7.44	850.48	3861.56	3861.56	3861.56	850.48	850.48	850.48	850.48	3861.56	3861.56	3861.56	3861.56
11	15.00	1698	16.39	16.39	9.39	9.39	9.39	1249.09	5987.00	5987.00	5987.00	1249.09	1249.09	1249.09	1249.09	5987.00	5987.00	5987.00	5987.00
12	18.00	1294	11.17	11.17	7.61	7.61	7.61	877.49	3986.00	3986.00	3986.00	877.49	877.49	877.49	877.49	3986.00	3986.00	3986.00	3986.00
13	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
14	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
15	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
16	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
17	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
18	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
19	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
20	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
21	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
22	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
23	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
24	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
25	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
26	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
27	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
28	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
29	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
30	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25

Tabel 3. 4 Resume spring constant pada tanah section B

Depth (m)	N	D = 0.60m		D = 1.00m		D = 0.60m y = 1.00m		D = 0.60m		D = 1.00m		D = 0.60m		D = 1.00m		D = 0.60m		D = 1.00m	
		Subgrade reaction ko = 0.2 En D ^{-0.5}		Subgrade reaction ko = 0.2 En D ^{-0.5}		k = ko x y ^{0.4}		k = ko x y ^{0.4}		kV = ko x A		Spring Constant ko-ky-k D dz		Spring Constant ko-ky-k D dz		kx-ky		kx-ky	
		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	ton	ton	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg/cm
0	4.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	4.00	182.8	1.89	1.89	1.15	1.15	1.15	1142.40	774.97	872.08	872.08	1142.40	1142.40	1142.40	1142.40	904.05	904.05	904.05	904.05
2	12.00	382	2.82	2.82	2.12	2.12	2.12	1424.11	1711.99	1889.09	1889.09	1424.11	1424.11	1424.11	1424.11	1326.10	1326.10	1326.10	1326.10
3	16.00	386	2.86	2.86	2.12	2.12	2.12	1384.96	1749.64	1749.64	1749.64	1384.96	1384.96	1384.96	1384.96	1749.64	1749.64	1749.64	1749.64
4	16.70	386.4	3.13	3.13	2.12	2.12	2.12	1401.56	2052.88	2107.09	2107.09	1401.56	1401.56	1401.56	1401.56	2107.09	2107.09	2107.09	2107.09
5	11.00	324.8	2.69	2.69	1.95	1.95	1.95	1241.96	1612.18	1612.18	1612.18	1241.96	1241.96	1241.96	1241.96	1612.18	1612.18	1612.18	1612.18
6	11.00	377.4	3.43	3.43	2.12	2.12	2.12	1584.87	1822.58	1822.58	1822.58	1584.87	1584.87	1584.87	1584.87	1822.58	1822.58	1822.58	1822.58
7	16.00	382	2.86	2.86	2.12	2.12	2.12	1384.96	2047.19	2107.09	2107.09	1384.96	1384.96	1384.96	1384.96	2107.09	2107.09	2107.09	2107.09
8	24.00	472	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	1694.96	1710.00	1710.00	1710.00	1694.96	1694.96	1694.96	1694.96	1710.00	1710.00	1710.00	1710.00
9	47.00	1316	12.13	12.13	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
10	27.00	751	7.81	7.81	4.76	4.76	4.76	1694.96	2752.27	4281.24	4281.24	1694.96	1694.96	1694.96	1694.96	4281.24	4281.24	4281.24	4281.24
11	25.70	602.6	6.39	6.39	4.29	4.29	4.29	1284.39	2284.39	4093.69	4093.69	1284.39	1284.39	1284.39	1284.39	4093.69	4093.69	4093.69	4093.69
12	26.00	760	8.07	8.07	4.87	4.87	4.87	1694.96	3407.11	4661.42	4661.42	1694.96	1694.96	1694.96	1694.96	4661.42	4661.42	4661.42	4661.42
13	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
14	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25
15	16.00	1489	12.96	12.96	8.93	8.93	8.93	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	1039.03	1039.03	1039.03	1039.03	4954.25	4954.25	4954.25	4954.25

Cat : Untuk lebih jelasnya terlampir.



Gambar 3. 3 Permodelan spring pada bored pile

3.3.4 Perencanaan Pelat Lantai

Perencanaan plat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , yang memenuhi ketentuan dalam RSNI T-12-2004 Pasal 5.5.2 & 5.5.3 mengenai tebal minimum pelat. Analisis dimensi yang digunakan pelat pada bentang tepi dan bentang tengah adalah sama karena jarak bentang pelat antara pusat tumpuan sama.

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi pelat} &= t_s \geq 200 \text{ mm (5.5.2)} \\
 &= t_s \geq 100 + 0,04 L \text{ mm (5.5.3)} \\
 &= t_s \geq 100 + 0,04 (26.3 \text{ m}) \text{ mm} \\
 &= t_s \geq 101 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Keterangan : L = Bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter)

Pada perhitungan tebal minimum didapat ts lebih besar dari 100,1 mm maka pada tebal minimum yang digunakan untuk jembatan ini diambil 230 mm. Sehingga memenuhi persyaratan dari **RSNI T-12-2004 Pasal 5.5.2 & 5.5.3**

3.3.5 Perencanaan Dimensi Gelagar

Penentuan dimensi tinggi gelagar (h) dan lebar gelagar (bw) yaitu :

$$\begin{aligned} &= 1/12 L \geq h \geq 1/15 L \\ &= 1/12 (26300 \text{ mm}) \geq h \geq 1/15 (26300 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Maka untuk menentukan tinggi gelagar dilakukan pendekatan dengan batas minimal tinggi 1750 mm dan tinggi maksimal 2190 mm, dari persyaratan diatas diambil tinggi gelagar 1800 mm. Lalu dilakukan kontrol tinggi nominal gelagar.

$$\begin{aligned} h &\geq 165 + 0,06 L \text{ mm} \\ 1700 &\geq 165 + 0,06 (25000) \text{ mm} \\ 1700 &\geq 1665 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena tinggi gelagar yang diambil lebih besar dari syarat maka tinggi yang diambil memenuhi kontrol tinggi nominal gelagar.

$$\begin{aligned} \text{Lebar gelagar} &= 1/3 h \geq bw \geq 2/3 h \\ &= 1/3 (1800 \text{ mm}) \geq bw \geq 2/3 (1800 \text{ mm}) \\ &= 600 \text{ mm} \geq bw \geq 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi lebar gelagar (bw) yang digunakan adalah 800 mm.

Lebar gelagar bagian bawah (bw) yang diambil agar memenuhi syarat adalah 800 mm dan lebar efektif bagian atas gelagar (b ef) diambil lebar minimum dari ketiga syarat lebar efektif diatas adalah 1600 mm.

Perhitungan Jumlah Gelagar (n)

$$\begin{aligned} n &= (\text{Lebar Lantai kendaraan} / \text{Jarak antar gelagar}) + 1 \\ &= (25.2 \text{ m} / 2 \text{ m}) + 1 \\ &= 11,96 = 12 \text{ (dibulatkan)} \end{aligned}$$

3.3.6 Perencanaan Dimensi Diafragma

Penentuan tinggi diafragma (hd) dan lebar diafragma (bd) yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Diafragma} &= hd \geq 165 + 0,06 S \text{ mm} \\ &= hd \geq 165 + 0,06 (2000) \text{ mm} \\ &= hd \geq 285 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka untuk tinggi diafragma yang diambil agar memenuhi syarat adalah 800 mm.

$$\begin{aligned} \text{Lebar Diafragma} &= hd/3 \geq 300 \text{ mm} \\ &= 500 / 3 \geq 300 \text{ mm} \\ &= 166,67 \geq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka untuk lebar diafragma yang diambil agar memenuhi syarat adalah 300 mm.

Dimensi Gelagar

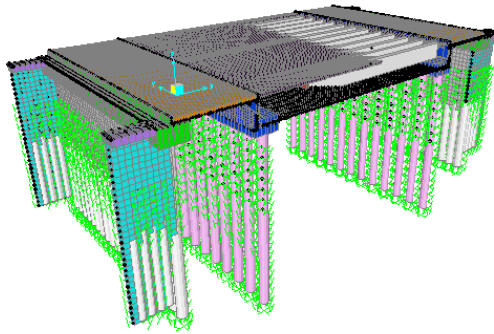
- Tinggi Gelagar (h) = 1,8 m
- Lebar Gelagar (bw) = 0,7 m
- Jarak Antar Gelagar (S) = 2 m
- Jumlah Gelagar (n) = 12

Dimensi Diafragma

- Tinggi Diafragma (hd) = 0,8 m
- Lebar Diafragma (bd) = 0,3 m
- Jumlah Diafragma (n) = 5

3.4 Permodelan Struktur

Permodelan struktur menggunakan bantuan program SAP2000.



Gambar 3. 4 Permodelan struktur Jembatan Kartoharjo desain menggunakan SAP2000

Rekapitulasi Data Perencanaan

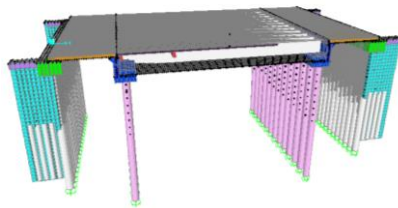
- Bentang (L) = 26,3 m
- Bentang Full Plat = 7,2 m
- Lebar Lantai Kendaraan = 25,2 m
- Tebal Pelat Lantai (ts) = 23,7 cm

3.5 Analisis Pembebanan

3.5.1 Beban Mati Sendiri (MS)

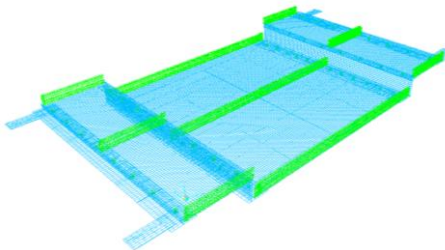
Faktor beban ultimit : $KMS = 1.3$

Berat sendiri (*self weight*) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri elemen struktural dihitung secara otomatis oleh Program SAP2000.



Gambar 3. 5 Elemen Struktural Jembatan

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| ❖ Beton bertulang | = 2400 kg/m ³ |
| ❖ Baja | = 7800 kg/m ³ |
| ❖ Parapet | = 13.455 kN/m |



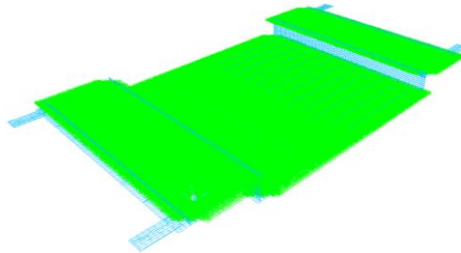
Gambar 3. 6 Beban parapet pada lantai jembatan

3.5.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Faktor beban ultimit : $KMA = 2.0$

Beban mati tambahan (superimposed dead load), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Jembatan direncanakan mampu memikul beban tambahan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \diamond \text{ Genangan air hujan} &= 0.02 \text{ m} \times 9.8 \text{ kN/m}^3 \\ &= 0.196 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



Gambar 3. 7 Beban air hujan pada lantai jembatan

3.5.3 Beban Lajur “D” (TD)

Faktor beban ultimit : $KTD = 1.8$

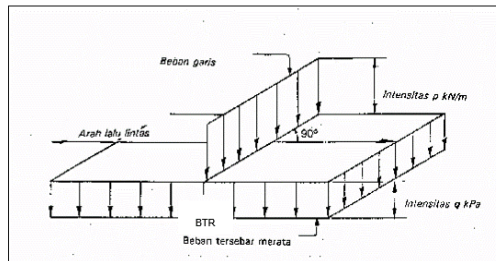
Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (Uniformly Distributed Load), UDL dan beban garis (Knife Edge Load), KEL seperti terlihat pada gambar. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q &= 8.0 \text{ kPa} && \text{untuk } L \leq 30 \text{ m} \\ q &= 8.0 * (0.5 + 15 / L) \text{ kPa} && \text{untuk } L > 30 \text{ m} \end{aligned}$$

KEL mempunyai intensitas, $p = 44.0 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis (*Dynamic Load Allowance*)
untuk KEL diambil sebagai berikut :

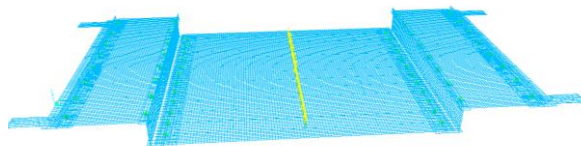
$$\begin{aligned} \text{DLA} &= 0.4 && \text{untuk } L \leq 50 \text{ m} \\ \text{DLA} &= 0.4 - 0.0025 \cdot (L - 50) && \text{untuk } 50 < L < 90 \text{ m} \\ \text{DLA} &= 0.3 && \text{untuk } L \geq 90 \text{ m} \end{aligned}$$



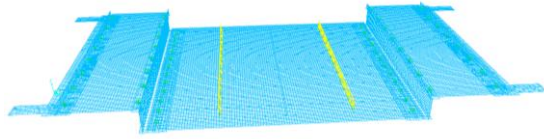
Gambar 3. 8 Ilustrasi pembagian beban KEL dan UDL

Namun disini kami mengasumsikan beban KEL 100% pada semua area.

- ❖ KEL $= 49 \text{ kN/m} \times (1 + \text{DLA})$
 $= 49 \text{ kN/m} \times 0.5$
 KEL 100% $= 69 \text{ kN/m}$
~~KEL 50 % $= 34 \text{ kN/m}$~~
- ❖ UDL bentang 26 m $= 9 \text{ kPa}$



Gambar 3. 9 Beban KEL 1 pada lantai jembatan



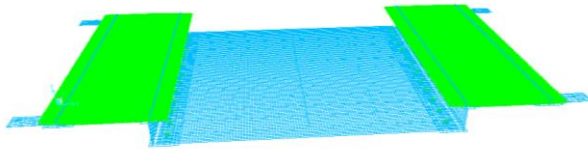
Gambar 3. 10 Bean KEL 2 pada lantai jembatan



Gambar 3. 11 Beban KEL 3 pada lantai jembatan



Gambar 3. 12 Beban UDL 1 pada lantai jembatan



Gambar 3. 13 Beban UDL 2 pada lantai jembatan

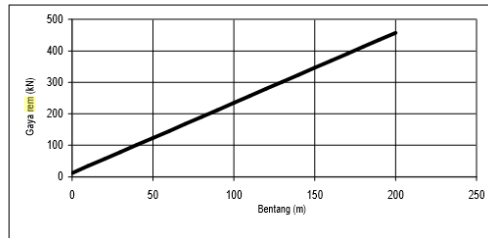


Gambar 3. 14 Beban UDL 3 pada lantai jembatan

3.5.4 Beban Rem (TB)

Faktor beban ultimit : $K_{TB} = 1.8$

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan.



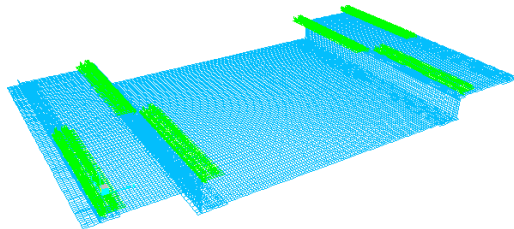
Gambar 3. 15 Gaya rem per lajur 2,75 m

Berdasarkan pada “RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan pada Jembatan bagian Gambar 9” didapatkan Beban Rem : $L = 26.3 \text{ m} \rightarrow 85 \text{ kN}$; $L = 7.2 \text{ m} \rightarrow 35 \text{ kN}$

Gaya rem tsb. didistribusikan ke setiap joint pertemuan balok lantai jembatan dengan jumlah joint tertentu.

$$L = 26.3 \text{ m} \rightarrow 85 \text{ kN} / 51 = 1.7 \text{ kN}$$

$$L = 7.2 \text{ m} \rightarrow 35 \text{ kN} / 60 = 0.6 \text{ kN}$$



Gambar 3. 16 Beban rem pada lantai jembatan

3.5.5 Beban Angin (EW)

Faktor beban ultimit : $KEW = 1.2$

Gaya akibat angin dihitung dengan rumus sebagai berikut : $TEW = 0.0006 * C_w * (V_w)^2 * A_b$ (kN)

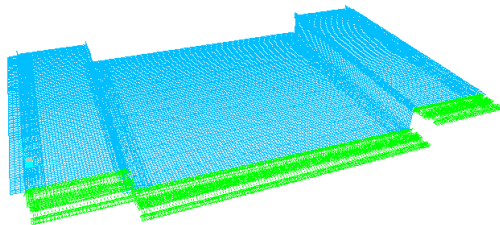
$C_w = 1.25$

$V_w = 30$ m/s (*ultimate*)

A_b = luas bidang samping jembatan (m²)

Gaya angin di distribusikan merata pada bidang samping setiap elemen struktur yang membentuk portal lengkung pada arah melintang jembatan. Lebar bidang kontak vertikal untuk setiap elemen rangka samping struktur jembatan diambil yang terbesar.

- ❖ Beban angin pada deck plat 0.237 m,
 $b = 0.237$ m , $TEW = 0.0053$ kN/m
- ❖ Beban angin pada girder,
 $b = 1.8$ m , $TEW = 0.041$ kN/m
- ❖ Beban angin pada *pier head* tengah,
 $ab = 4.92$ m , $TEW = 0.1107$ kN
- ❖ Beban angin pada deck plat 0.4 m,
 $b = 0.4$ m , $TEW = 0.009$ kN/m
- ❖ Beban angin pada *pier head* abutment,
 $ab = 3.9$ m , $TEW = 0.0884$ kN



Gambar 3. 17 Beban angin pada sisi samping jembatan

3.5.6 Tekanan Tanah (TA)

Faktor beban ultimit : $K_{TA} = 1.25$ (aktif) dan 1.40 (pasif)

- Timbunan plat injak $q = 0.3 \text{ m}$
- BJ Tanah $\gamma_t = 17 \text{ kN/m}^3$
- Sudut geser tanah
 (t timbunan) $\Phi = 30^\circ$ *elv +0 m s/d -3.37 m*
 (t asli) $\Phi = 10^\circ$ *elv -3.37 m s/d -7 m*
 (t asli) $\Phi = 25^\circ$ *elv -7 m s/d -30 m*

Tekanan Tanah Aktif

- $K_a = \tan^2 (45^\circ - \Phi/2)$
 $= 0.333$ (untuk $\Phi = 30^\circ$)
- $K_a = \tan^2 (45^\circ - \Phi/2)$
 $= 0.704$ (untuk $\Phi = 10^\circ$)
- $K_a = \tan^2 (45^\circ - \Phi/2)$
 $= 0.406$ (untuk $\Phi = 25^\circ$)

- $p_a = K_a \times \gamma \times h$ (kN/m²)
- $P_a = p_a \times h/2$ (kN/m)
- $p_q = K_a \times q$ (kN/m²)
- $P_q = p_q \times h$ (kN/m)
- $p_w = K_w \times \gamma_w \times h$ (kN/m²)
- $P_w = p_w \times h/2$ (kN/m)
- $P_{\text{tot}} = P_a + P_q + P_w$ (kN/m)

Tabel 3. 5 Resume Tekanan aktif tanah timbunan

Tekanan Aktif									
Kedalaman	pa	pq	pw	p tot	p tot	Pa	Pq	Pw	P tot
(m)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(T/m2)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(T/m)
0	0.00	0.10	0.00						
0.25	1.42	0.10	0.00			0.18	0.03	0.00	0.20
0.5	2.83	0.10	0.00			0.71	0.05	0.00	0.76
0.75	4.25	0.10	0.00			1.59	0.08	0.00	1.67
1	5.67	0.10	0.00			2.83	0.10	0.00	2.93
1.25	7.08	0.10	2.50			4.43	0.13	1.56	6.11
1.5	8.50	0.10	5.00			6.38	0.15	3.75	10.28
1.75	9.92	0.10	7.50			8.68	0.18	6.56	15.41
2	11.33	0.10	10.00			11.33	0.20	10.00	21.53
2.25	12.75	0.10	12.50			14.34	0.23	14.06	28.63
2.5	14.17	0.10	15.00			17.71	0.25	18.75	36.71
2.75	15.58	0.10	17.50			21.43	0.28	24.06	45.76
3	17.00	0.10	20.00			25.50	0.30	30.00	55.80
3.25	18.42	0.10	22.50			29.93	0.33	36.56	66.81
3.37	19.10	0.10	23.70			32.18	0.34	39.93	72.45

Tabel 3. 6 Resume Tekanan aktif tanah asli

3.5	41.89	0.21	25.00	73.31	0.74	43.75	117.80	11.78
3.75	44.89	0.21	27.50	84.16	0.79	51.56	136.52	13.65
4	47.88	0.21	30.00	95.76	0.84	60.00	156.60	15.66
4.25	50.87	0.21	32.50	108.10	0.90	69.06	178.06	17.81
4.5	53.86	0.21	35.00	121.19	0.95	78.75	200.89	20.09
4.75	56.86	0.21	37.50	135.03	1.00	89.06	225.10	22.51
5	59.85	0.21	40.00	149.62	1.06	100.00	250.67	25.07
5.25	62.84	0.21	42.50	164.95	1.11	111.56	277.63	27.76
5.5	65.83	0.21	45.00	181.04	1.16	123.75	305.95	30.60
5.75	68.82	0.21	47.50	197.87	1.21	136.56	335.65	33.56
6	71.82	0.21	50.00	215.45	1.27	150.00	366.72	36.67
6.25	74.81	0.21	52.50	233.78	1.32	164.06	399.16	39.92
6.5	77.80	0.21	55.00	252.86	1.37	178.75	432.98	43.30
6.75	80.79	0.21	57.50	272.68	1.43	194.06	468.17	46.82
7	83.79	0.21	60.00	293.25	1.48	210.00	504.73	50.47
7.25	50.02	0.12	62.50	181.33	0.88	226.56	408.78	40.88
7.5	51.75	0.12	65.00	194.05	0.91	243.75	438.71	43.87
7.75	53.47	0.12	67.50	207.20	0.94	261.56	469.71	46.97
8	55.20	0.12	70.00	220.79	0.97	280.00	501.76	50.18

8.25	56.92	0.12	72.50
8.5	58.65	0.12	75.00
8.75	60.37	0.12	77.50
9	62.10	0.12	80.00
9.25	63.82	0.12	82.50
9.5	65.55	0.12	85.00
9.75	67.27	0.12	87.50
10	69.00	0.12	90.00
10.25	70.72	0.12	92.50
10.5	72.45	0.12	95.00
10.75	74.17	0.12	97.50
11	75.90	0.12	100.00
11.25	77.62	0.12	102.50
11.5	79.35	0.12	105.00
11.75	81.07	0.12	107.50
12	82.80	0.12	110.00
12.25	84.52	0.12	112.50
12.5	86.24	0.12	115.00
12.75	87.97	0.12	117.50
13	89.69	0.12	120.00
13.25	91.42	0.12	122.50
13.5	93.14	0.12	125.00
13.75	94.87	0.12	127.50
14	96.59	0.12	130.00
14.25	98.32	0.12	132.50
14.5	100.04	0.12	135.00
14.75	101.77	0.12	137.50
15	103.49	0.12	140.00
15.25	105.22	0.12	142.50
15.5	106.94	0.12	145.00
15.75	108.67	0.12	147.50
16	110.39	0.12	150.00
16.25	112.12	0.12	152.50
16.5	113.84	0.12	155.00
16.75	115.57	0.12	157.50
17	117.29	0.12	160.00
17.25	119.02	0.12	162.50
17.5	120.74	0.12	165.00
17.75	122.47	0.12	167.50
18	124.19	0.12	170.00
18.25	125.92	0.12	172.50
18.5	127.64	0.12	175.00
18.75	129.37	0.12	177.50
19	131.09	0.12	180.00
19.25	132.82	0.12	182.50
19.5	134.54	0.12	185.00
19.75	136.27	0.12	187.50
20	137.99	0.12	190.00
20.25	139.72	0.12	192.50
20.5	141.44	0.12	195.00
20.75	143.17	0.12	197.50
21	144.89	0.12	200.00
21.25	146.62	0.12	202.50
21.5	148.34	0.12	205.00
21.75	150.07	0.12	207.50
22	151.79	0.12	210.00
22.25	153.52	0.12	212.50
22.5	155.24	0.12	215.00
22.75	156.97	0.12	217.50
23	158.69	0.12	220.00
23.25	160.42	0.12	222.50
23.5	162.14	0.12	225.00
23.75	163.87	0.12	227.50
24	165.59	0.12	230.00
24.25	167.32	0.12	232.50
24.5	169.04	0.12	235.00
24.75	170.76	0.12	237.50
25	172.49	0.12	240.00

234.80	1.00	299.06	534.87	53.49
249.25	1.03	318.75	569.03	56.90
264.13	1.07	339.06	604.25	60.43
279.43	1.10	360.00	640.53	64.05
295.17	1.13	381.56	677.86	67.79
311.34	1.16	403.75	716.25	71.63
327.95	1.19	426.56	755.70	75.57
344.98	1.22	450.00	796.20	79.62
362.44	1.25	474.06	837.75	83.78
380.34	1.28	498.75	880.37	88.04
398.67	1.31	524.06	924.04	92.40
417.43	1.34	550.00	968.76	96.88
436.61	1.37	576.56	1014.55	101.45
456.24	1.40	603.75	1061.39	106.14
476.29	1.43	631.56	1109.28	110.93
496.77	1.46	660.00	1158.23	115.82
517.69	1.49	689.06	1208.24	120.82
539.03	1.52	718.75	1259.30	125.93
560.81	1.55	749.06	1311.42	131.14
583.02	1.58	780.00	1364.60	136.46
605.66	1.61	811.56	1418.83	141.88
628.73	1.64	843.75	1474.12	147.41
652.23	1.67	876.56	1530.46	153.05
676.16	1.70	910.00	1587.86	158.79
700.52	1.74	944.06	1646.32	164.63
725.32	1.77	978.75	1705.84	170.58
750.55	1.80	1014.06	1766.40	176.64
776.20	1.83	1050.00	1828.03	182.80
802.29	1.86	1086.56	1890.71	189.07
828.81	1.89	1123.75	1954.45	195.45
855.77	1.92	1161.56	2019.25	201.92
883.15	1.95	1200.00	2085.10	208.51
910.96	1.98	1239.06	2152.00	215.20
939.21	2.01	1278.75	2219.97	222.00
967.88	2.04	1319.06	2288.99	228.99
996.99	2.07	1360.00	2359.06	235.91
1026.53	2.10	1401.56	2430.19	243.02
1056.50	2.13	1443.75	2502.38	250.24
1086.90	2.16	1486.56	2575.63	257.56
1117.73	2.19	1530.00	2649.93	264.99
1149.00	2.22	1574.06	2725.28	272.53
1180.69	2.25	1618.75	2801.70	280.17
1212.82	2.28	1664.06	2879.16	287.92
1245.38	2.31	1710.00	2957.69	295.77
1278.37	2.34	1756.56	3037.27	303.73
1311.79	2.37	1803.75	3117.91	311.79
1345.64	2.40	1851.56	3199.60	319.96
1379.92	2.44	1900.00	3282.35	328.24
1414.63	2.47	1949.06	3366.16	336.62
1449.78	2.50	1998.75	3451.02	345.10
1485.35	2.53	2049.06	3536.94	353.69
1521.36	2.56	2100.00	3623.92	362.39
1557.80	2.59	2151.56	3711.95	371.19
1594.67	2.62	2203.75	3801.04	380.10
1631.97	2.65	2256.56	3891.18	389.12
1669.70	2.68	2310.00	3982.38	398.24
1707.87	2.71	2364.06	4074.64	407.46
1746.46	2.74	2418.75	4167.95	416.79
1785.49	2.77	2474.06	4262.32	426.23
1824.94	2.80	2530.00	4357.74	435.77
1864.83	2.83	2586.56	4454.22	445.42
1905.15	2.86	2643.75	4551.76	455.18
1945.90	2.89	2701.56	4650.36	465.04
1987.08	2.92	2760.00	4750.01	475.00
2028.70	2.95	2819.06	4850.71	485.07
2070.74	2.98	2878.75	4952.47	495.25
2113.22	3.01	2939.06	5055.29	505.53
2156.12	3.04	3000.00	5159.17	515.92

Tekanan Tanah Pasif

- $K_p = \tan^2 (45^\circ + \Phi/2)$
 $= 1.420$ (untuk $\Phi = 10^\circ$)
- $K_p = \tan^2 (45^\circ + \Phi/2)$
 $= 2.464$ (untuk $\Phi = 25^\circ$)
- $pp = K_p \times Y \times h$ (kN/m²)
- $P_p = pp \times h/2$ (kN/m)
- $pw = K_w \times Y_w \times h$ (kN/m²)
- $P_w = pw \times h/2$ (kN/m)
- $P_{tot} = P_p + P_w$ (kN/m)

Tabel 3. 7 Resume tekanan tanah pasif

Tekanan Pasif								
Kedalaman	pp	pw	p tot	p tot	Pp	Pw	P tot	P tot
(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(T/m ²)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(T/m)
0	0.00	0.00						
0.25	6.04	2.50			0.75	0.31	1.07	0.11
0.5	12.07	5.00			3.02	1.25	4.27	0.43
0.75	18.11	7.50			6.79	2.81	9.60	0.96
1	24.14	10.00			12.07	5.00	17.07	1.71
1.25	30.18	12.50			18.86	7.81	26.68	2.67
1.5	36.22	15.00			27.16	11.25	38.41	3.84
1.75	42.25	17.50			36.97	15.31	52.28	5.23
2	48.29	20.00			48.29	20.00	68.29	6.83
2.25	54.33	22.50			61.12	25.31	86.43	8.64
2.5	60.36	25.00			75.45	31.25	106.70	10.67
2.75	66.40	27.50			91.30	37.81	129.11	12.91
3	72.43	30.00			108.65	45.00	153.65	15.37
3.25	78.47	32.50			127.51	52.81	180.33	18.03
3.5	84.51	35.00			147.89	61.25	209.14	20.91
3.75	157.07	37.50			294.51	70.31	364.83	36.48
4	167.55	40.00			335.09	80.00	415.09	41.51
4.25	178.02	42.50			378.29	90.31	468.60	46.86
4.5	188.49	45.00			424.10	101.25	525.35	52.54
4.75	198.96	47.50			472.53	112.81	585.34	58.53
5	209.43	50.00			523.58	125.00	648.58	64.86
5.25	219.90	52.50			577.25	137.81	715.06	71.51
5.5	230.38	55.00			633.53	151.25	784.78	78.48
5.75	240.85	57.50			692.44	165.31	857.75	85.77
6	251.32	60.00			753.96	180.00	933.96	93.40
6.25	261.79	62.50			818.10	195.31	1013.41	101.34
6.5	272.26	65.00			884.85	211.25	1096.10	109.61
6.75	282.73	67.50			954.23	227.81	1182.04	118.20
7	293.21	70.00			1026.22	245.00	1271.22	127.12

7.25	303.68	72.50
7.5	314.15	75.00
7.75	324.62	77.50
8	335.09	80.00
8.25	345.56	82.50
8.5	356.04	85.00
8.75	366.51	87.50
9	376.98	90.00
9.25	387.45	92.50
9.5	397.92	95.00
9.75	408.39	97.50
10	418.87	100.00
10.25	429.34	102.50
10.5	439.81	105.00
10.75	450.28	107.50
11	460.75	110.00
11.25	471.22	112.50
11.5	481.69	115.00
11.75	492.17	117.50
12	502.64	120.00
12.25	513.11	122.50
12.5	523.58	125.00
12.75	534.05	127.50
13	544.52	130.00
13.25	555.00	132.50
13.5	565.47	135.00
13.75	575.94	137.50
14	586.41	140.00
14.25	596.88	142.50
14.5	607.35	145.00
14.75	617.83	147.50
15	628.30	150.00
15.25	638.77	152.50
15.5	649.24	155.00
15.75	659.71	157.50
16	670.18	160.00
16.25	680.66	162.50
16.5	691.13	165.00
16.75	701.60	167.50
17	712.07	170.00
17.25	722.54	172.50
17.5	733.01	175.00
17.75	743.49	177.50
18	753.96	180.00
18.25	764.43	182.50
18.5	774.90	185.00
18.75	785.37	187.50
19	795.84	190.00
19.25	806.32	192.50
19.5	816.79	195.00
19.75	827.26	197.50
20	837.73	200.00
20.25	848.20	202.50
20.5	858.67	205.00
20.75	869.15	207.50
21	879.62	210.00
21.25	890.09	212.50
21.5	900.56	215.00

1100.83	262.81	1363.64	136.36
1178.06	281.25	1459.31	145.93
1257.90	300.31	1558.22	155.82
1340.37	320.00	1660.37	166.04
1425.45	340.31	1765.76	176.58
1513.15	361.25	1874.40	187.44
1603.47	382.81	1986.28	198.63
1696.40	405.00	2101.40	210.14
1791.96	427.81	2219.77	221.98
1890.13	451.25	2341.38	234.14
1990.92	475.31	2466.23	246.62
2094.33	500.00	2594.33	259.43
2200.35	525.31	2725.66	272.57
2308.99	551.25	2860.24	286.02
2420.26	577.81	2998.07	299.81
2534.13	605.00	3139.13	313.91
2650.63	632.81	3283.44	328.34
2769.75	661.25	3431.00	343.10
2891.48	690.31	3581.79	358.18
3015.83	720.00	3735.83	373.58
3142.80	750.31	3893.11	389.31
3272.38	781.25	4053.63	405.36
3404.59	812.81	4217.40	421.74
3539.41	845.00	4384.41	438.44
3676.85	877.81	4554.66	455.47
3816.91	911.25	4728.16	472.82
3959.58	945.31	4904.90	490.49
4104.88	980.00	5084.88	508.49
4252.79	1015.31	5268.10	526.81
4403.32	1051.25	5454.57	545.46
4556.47	1087.81	5644.28	564.43
4712.23	1125.00	5837.23	583.72
4870.62	1162.81	6033.43	603.34
5031.62	1201.25	6232.87	623.29
5195.24	1240.31	6435.55	643.55
5361.47	1280.00	6641.47	664.15
5530.33	1320.31	6850.64	685.06
5701.80	1361.25	7063.05	706.31
5875.89	1402.81	7278.71	727.87
6052.60	1445.00	7497.60	749.76
6231.93	1487.81	7719.74	771.97
6413.87	1531.25	7945.12	794.51
6598.44	1575.31	8173.75	817.37
6785.62	1620.00	8405.62	840.56
6975.41	1665.31	8640.73	864.07
7167.83	1711.25	8879.08	887.91
7362.86	1757.81	9120.68	912.07
7560.52	1805.00	9365.52	936.55
7760.79	1852.81	9613.60	961.36
7963.67	1901.25	9864.92	986.49
8169.18	1950.31	10119.49	1011.95
8377.30	2000.00	10377.30	1037.73
8588.05	2050.31	10638.36	1063.84
8801.40	2101.25	10902.65	1090.27
9017.38	2152.81	11170.19	1117.02
9235.98	2205.00	11440.98	1144.10
9457.19	2257.81	11715.00	1171.50
9681.02	2311.25	11992.27	1199.23

Dari table diatas kami dapat mengukur & mengetahui kedalaman tanah dimana memiliki nilai (tekanan tanah aktif = tekanan tanah pasif), yang mana dari nilai tersebut dapat terlihat letak kedalam yang ideal untuk dinding penahan tanah (*secant pile*). Yaitu :

- Secant pile kedalaman 8 m
- Bored pile abutment kedalaman 18 m
- Bored pile pilar kedalaman 22 m

3.5.7 Beban Gempa (EQ)

Faktor beban ultimit : $KEQ = 1.0$ dan 0.3

Gempa menggunakan periode 1000 tahun

Lokasi = Kab. Magetan

$N = 2.323$ ($N < 15$; Tanah Lunak)

S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek = 0.5)

S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) = 0.25

Tabel 3. 8 Koefisien periode pendek

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek $(F_a) = 1.7$

Tabel 3. 9 Koefisien periode 1 detik

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SF	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SS			SS*		

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili
getaran periode 1 detik $(F_v) = 3.2$

Parameter spektrum respons percepatan pada periode
pendek $(S_{ds}) = F_a S_s = 0.85$

Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1
detik $(S_{d1}) = F_v S_1 = 0.8$

PGA $= 0.25$

F PGA $= 1.45$

$A_s = F_{PGA} \times PGA = 0.3625$

Grafik respon spektrum

$$T_o = 0.2 \times (S_{D1}/S_{DS}) = 0.176 \text{ s}$$

$$T_s = x (S_{D1}/S_{DS}) = 0.882 \text{ s}$$

- Untuk periode lebih kecil dari T_o , spektrum respon percepatan desain, S_a :

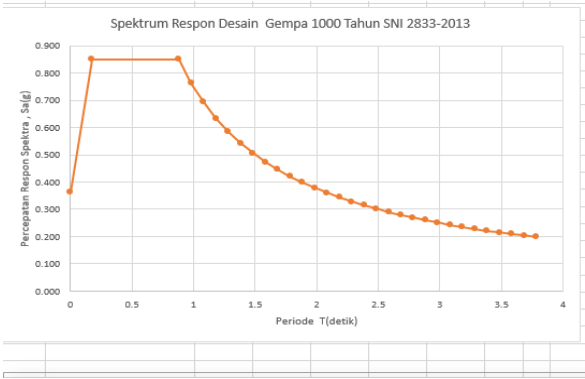
$$S_a = S_{DS} \times (0.4 + 0.6(T/T_o))$$

- Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_o dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a :

$$S_a = S_{DS}$$

- Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a :

$$S_a = S_{D1}/T$$



Gambar 3. 18 Grafik respon spektrum

Tabel 3. 10 Hasil Nilai Csm

T (detik)	T (detik)	Csm (g)	Ts+0,1		
			Ts+0,1	2.082	0.360
			Ts+0,1	2.182	0.344
0	0	0.363	Ts+0,1	2.282	0.329
To	0.176	0.850	Ts+0,1	2.382	0.315
Ts	0.882	0.850	Ts+0,1	2.482	0.302
Ts+0,1	0.982	0.763	Ts+0,1	2.582	0.290
Ts+0,1	1.082	0.693	Ts+0,1	2.682	0.280
Ts+0,1	1.182	0.634	Ts+0,1	2.782	0.270
Ts+0,1	1.282	0.585	Ts+0,1	2.882	0.260
Ts+0,1	1.382	0.543	Ts+0,1	2.982	0.251
Ts+0,1	1.482	0.506	Ts+0,1	3.082	0.243
Ts+0,1	1.582	0.474	Ts+0,1	3.182	0.236
Ts+0,1	1.682	0.446	Ts+0,1	3.282	0.228
Ts+0,1	1.782	0.421	Ts+0,1	3.382	0.222
Ts+0,1	1.882	0.398	Ts+0,1	3.482	0.215
Ts+0,1	1.982	0.378	Ts+0,1	3.582	0.209
			Ts+0,1	3.682	0.204
			Ts+0,1	3.782	0.198

3.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan RSNI T-02-2005 pasal 2.3 sebagai berikut :

Tabel 3. 11 Resume kombinasi layan

LAYAN PONDASI											
KOMBINASI		FAKTOR KOMBINASI							KET		
	D	SD	L	E		W	B	EQ			
				A	P			X	Y	BGT	BTR
[1]	1	1.00	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	
[2]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1	1
											2
											3
										2	1
											2
											3
										3	1
											2
											3
[3]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	1	1
											2
											3
										2	1
											2
											3
										3	1
											2
											3
[4]	1.00	1.00	-	1.00	1.00	-	-	1.00	0.30	-	
[5]	1.00	1.00	-	1.00	1.00	-	-	0.30	1.00	-	

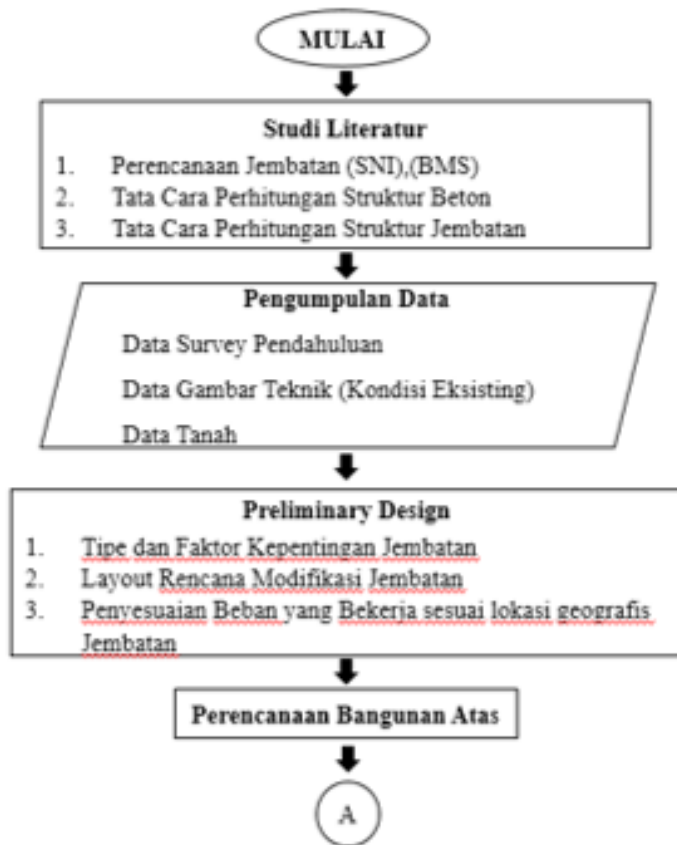
Tabel 3. 12 Resume kombinasi ultimit

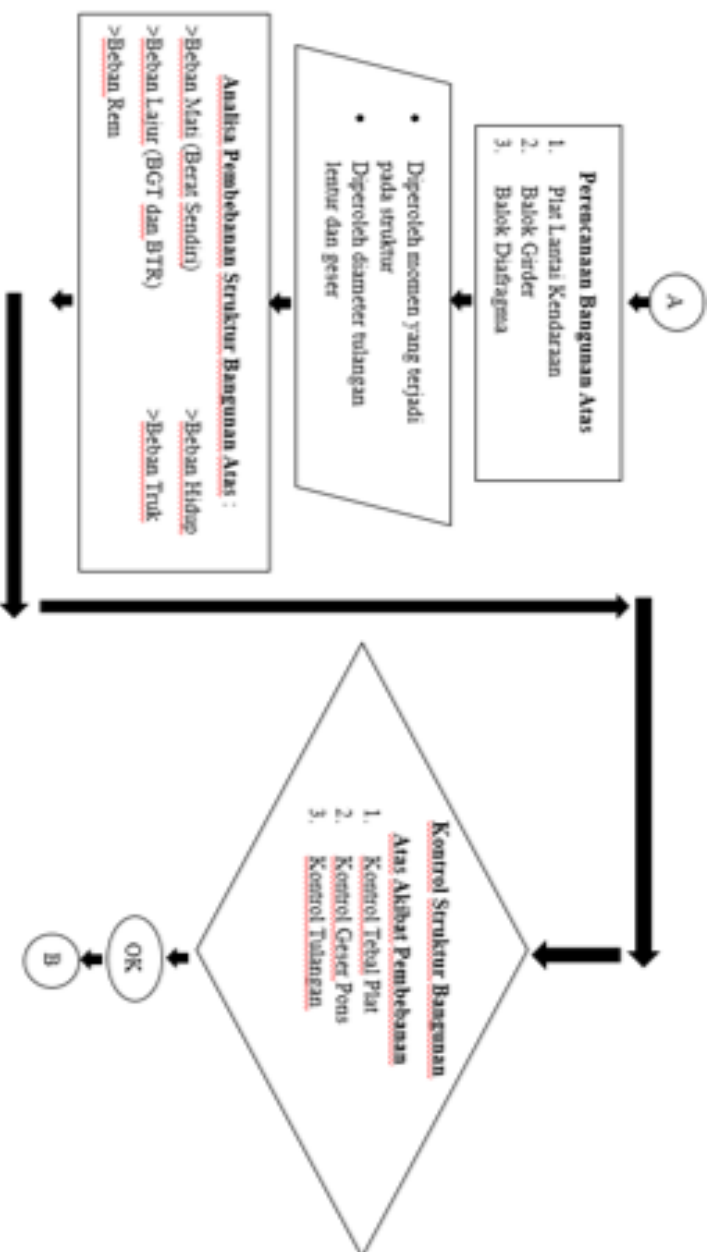
ULTIMIT BANGUNAN ATAS											
KOMBINASI	FAKTOR KOMBINASI								KET		
	D	SD	L	E		W	B	EQ			
				A	P			X	Y	BGT	BTR
[1]	1.30	2.00	-	1.25	1.40	-	-	-	-	-	
[2]	1.30	2.00	1.80	1.25	1.40	-	-	-	-	1	1
											2
											3
										2	1
											2
											3
										3	1
											2
											3
[3]	1.30	2.00	1.80	1.25	1.40	1.20	1.80	-	-	1	1
											2
											3
										2	1
											2
											3
										3	1
											2
											3
[4]	1.30	2.00	-	1.25	1.40	-	-	1.00	0.30	-	
[5]	1.30	2.00	-	1.25	1.40	-	-	0.30	1.00	-	

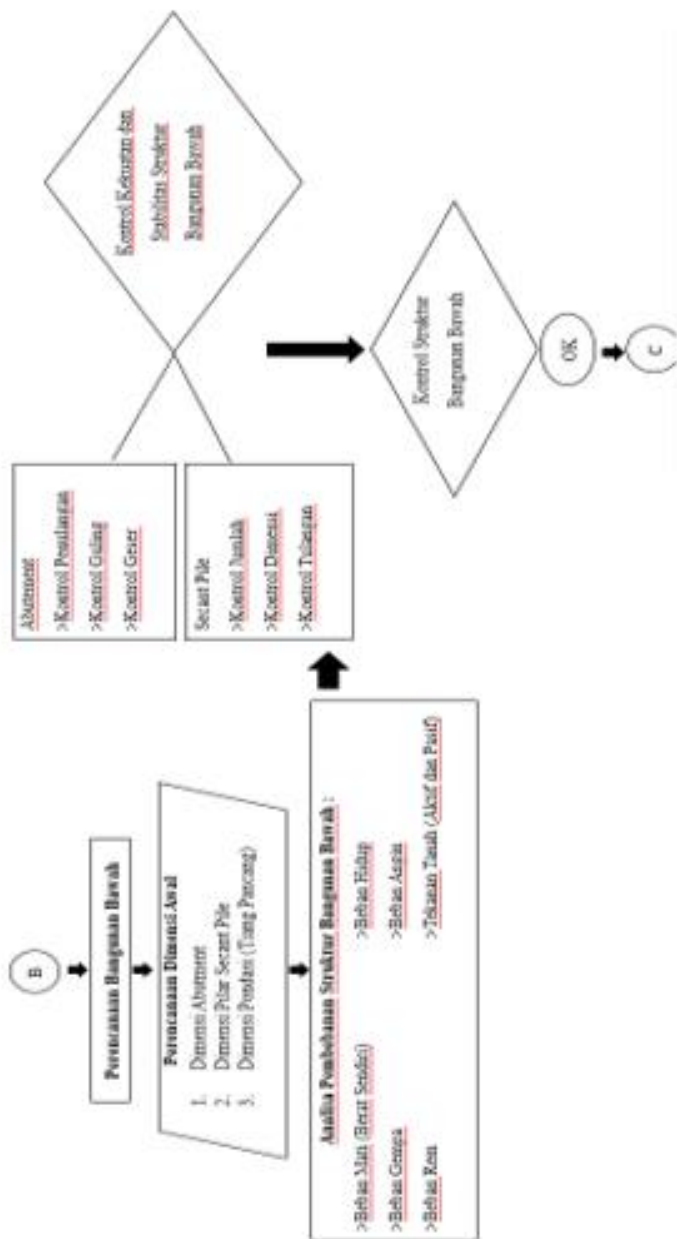
Keterangan :

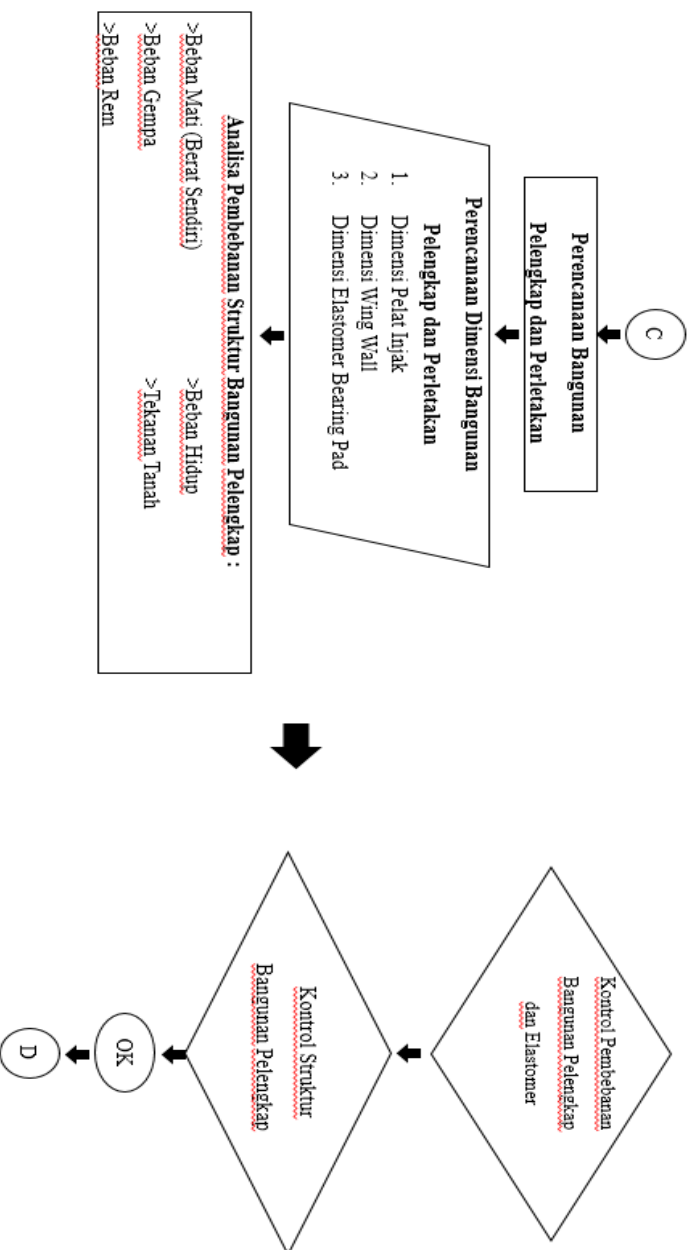
- D = Beban mati
- L = Beban hidup
- E = Beban Tekanan tanah
- W = Beban angin
- B = Beban rem
- EQ = Beban gempa

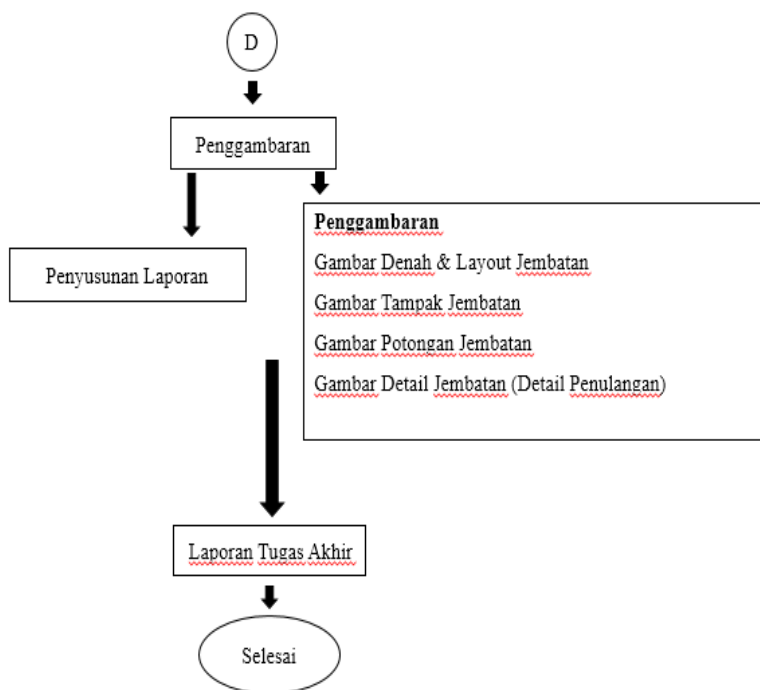
3.7 Flowchart (Bagan Alir Perencanaan)







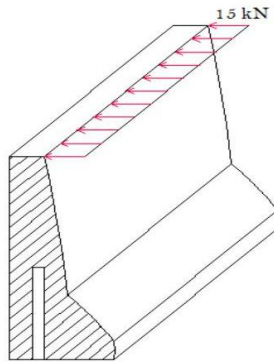




BAB IV

ANALISA STRUKTUR BANGUNAN ATAS

4.1 Parapet *Barrier*



Gambar 4. 1 Ilustrasi pembebanan pada parapet

4.1.1 Data

$$\begin{array}{ll} H = 1.35 \text{ m} & L = 1 \text{ m} \\ b = 0.5 \text{ m} & A = 0.414 \text{ m}^2 \end{array}$$

4.1.2 Analisa beban parapet

$$\begin{aligned} \text{Beban mati} &= \text{Vol} \times \text{BJ} \times \text{KuMS} \\ &= 0.414 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^2 \times 1.3 \\ &= 13.46 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan gaya dalam

$$\begin{aligned}
 MA &= 15 \times H & MU &= MA \times KuTP \\
 &= 15 \times 1.35 \text{ m} & &= 21 \text{ kN.m} \times 1.8 \\
 &= 21 \text{ kN.m} & &= 37.8 \text{ kN/m} \\
 VA &= 15 \text{ kN} & VU &= VA \times KuTP \\
 & & &= 15 \text{ kN} \times 1.8 \\
 & & &= 27 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.1.4 Material penulangan parapet

Mutu beton	f_c'	= 20.75 MPa
Mutu baja tulangan	f_y	= 290 MPa
Selimit beton	d'	= 30 mm
Tebal efektif	d	= 120 mm
Lebar yg ditinjau	b	= 1000 mm
Faktor reduksi lentur	Φ	= 0.8
Dia. Tulangan lentur	D	= 12 mm
Dia. Tulangan bagi	\emptyset	= 8 mm

4.1.5 Penulangan utama

$$\begin{aligned}
 M_r &= \frac{Mu}{\Phi} = \frac{37.8}{0.8} = 47.3 \text{ kN.m} \\
 R_n &= \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{47.3 \times 10^6}{1000 \times 14400} = 3.281 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_b &= \frac{\beta_1 \times 0.85 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 20.8}{290} \times \left(\frac{600}{600 + 290} \right) \\
 &= 0.051696 \times 0.67416 \\
 &= 0.03485 \\
 \rho_{min} &= \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{290} = 0.00483 \\
 \rho_{max} &= 0.75 \times \rho_b \\
 &= 0.75 \times 0.03485
 \end{aligned}$$

$$= 0.02614$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}} = \frac{290}{0.85 \times 20.8} = 16.4422$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16.4422} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.4422 \times 3.28}{290}} \right) \\ &= 0.0608 \times (1 - \sqrt{1 - 0.37207}) \\ &= 0.0608 \times 0.2076 \\ &= 0.0126 \text{ Maka diambil } \rho = 0.01263 \end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0.01263 \times 100 \times 120 \\ &= 1515 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tul. Utama D13

$$\begin{aligned} A_s &= 0.25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 144 \\ &= 113.04 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{A_s \text{ pasang} \times b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{113.04 \times 1000}{1515.004} \\ &= 74.6137 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka akan dipasang tulangan D13 – 150

$$A_s = 753.98$$

4.1.6 Penulangan bagi

Luas tulangan bagi yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s' &= 50 \% \times A_s \\ &= 50 \% \times 1515 \\ &= 757.502 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tul. Bagi D12

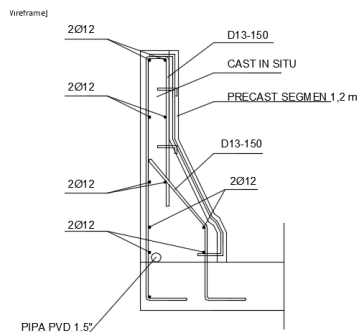
$$\begin{aligned} A_s &= 0.25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 64 \\ &= 50.24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tul. Bagi yang diperlukan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{757.502}{50.24} \\ &= 15.078 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, dipasang tulangan bagi 16D12

$$A_s = 3141.593$$



Gambar 4. 2 Penulangan Parapet

4.2 Plat Lantai Kendaraan

Pelat/slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam design, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (one way slab), dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar.

4.2.1 Preliminary design

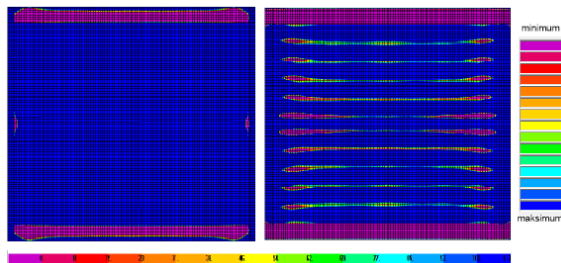
Sesuai dengan *SNI T-12-204 Struktur Jembatan Beton* pasal 5.5.2 bahwa tebal minimum plat ts ≥ 200 mm.

4.2.2 Analisa Gaya Dalam Plat 24 cm

Dalam mencari momen maksimum pada plat, digunakan kombinasi 4 ultimate :

$$[4] 1.3D + 2SD + 1.25 EA + 1.4 EP + 1EQ_x + 0.3EQ_y$$

$$[5] 1.3D + 2SD + 1.25 EA + 1.4 EP + 1EQ_y + 0.3EQ_x$$



Gambar 4. 3 Kontur momen plat 23 cm M11 (kiri) dan M22 (kanan)

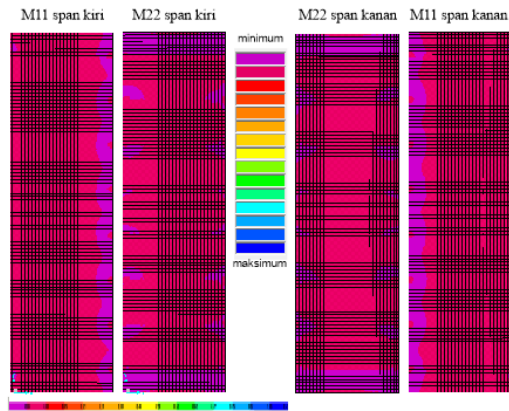
Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

- Mx Lapangan : 2.466 Tm/m
- Mx Tumpuan : 7.091 Tm/m
- My Lapangan : 2.328 Tm/m
- My Tumpuan : 12.03 Tm/m

Dari Momen diatas maka didapatkan kebutuhan tulangan minimum sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Kebutuhan tulangan memanjang minimum plat 24 cm span kiri

M e m b r a n j a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		16.6	16.6
	Mu	Tm/m	2.466	7.091
	Tebal	mm	237	237
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	155	155
	Penulangan			
			D16-300	D16-100
	Ast Terpasang		670.2064328	2010.619298
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		274784.6374	824353.9123
	a = T/0.85*f'c*b		19.47446048	58.42338145
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	3.193278202	8.29552679
			OK	OK



Gambar 4. 4 Kontur momen plat 40 cm M11 (kiri) dan M22 (kanan)

Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

Span kiri

- Mx Lapangan : 56.07 Tm/m
- Mx Tumpuan : 63.21 Tm/m
- My Lapangan : 81.45 Tm/m
- My Tumpuan : 119.65 Tm/m

Span kanan

- Mx Lapangan : 56.95 Tm/m
- Mx Tumpuan : 64.33 Tm/m
- My Lapangan : 84.299 Tm/m
- My Tumpuan : 124.35 Tm/m

Dari Momen diatas makan didapatkan kebutuhan tulangan minimum sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Kebutuhan tulangan memanjang minimum plat 40 cm

<i>M e m b e r i n g k a n g g e n</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		16.6	16.6
	Mu	Tm/m	56.07	63.21
	Tebal	mm	1000	1000
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	926	926
	<i>Penulangan</i>			
			D25-250	D25-200
	Ast Terpasang		1963.495408	2454.369261
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		805033.1175	1006291.397
	a = T/0.85*f'c*b		57.05408345	71.31760431
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	57.79963628	71.67541501
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Tabel 4. 3 Kebutuhan tulangan memanjang minimum plat 40 cm

<i>M e m b e r i n g k a n g g e n</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		16.6	16.6
	Mu	Tm/m	81.45	119.65
	Tebal	mm	1000	1000
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	926	926
	<i>Penulangan</i>			
			D25-150	D25-100
	Ast Terpasang		3272.492347	4908.738521
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		1341721.862	2012582.794
	a = T/0.85*f'c*b		95.09013908	142.6352086
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	94.29137483	137.6095267
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Dari table diatas didapatkan tulangan utama dan tulangan bagi minimum. Maka ditetapkan untuk plat 24 cm span kiri dan span kanan menggunakan tulangan :

Tulangan utama D25-145 (tumpuan dan tumpuan), tulangan bagi D25-140 (tumpuan) D25-145 (lapangan).

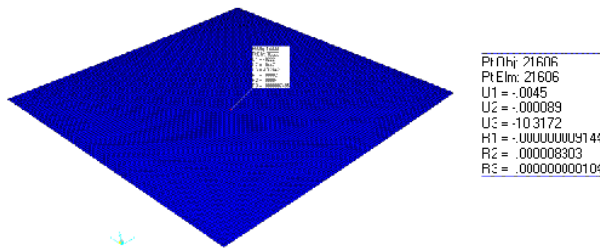
4.2.4 Kontrol Lendutan Plat 24 cm

Bentang yang ditinjau plat 24 cm ($L = 26.3 \text{ m} = 26300 \text{ mm}$)

- Lendutan ijin plat 24 cm

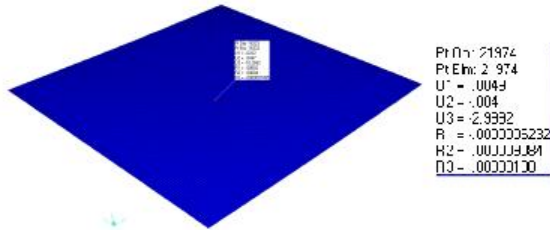
$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{26300}{800} = 32.875 \text{ mm}$$

- Lendutan akibat BTR (oleh SAP2000)



Gambar 4. 5 Lendutan plat 24 cm oleh BTR

- Lendutan akibat BGT (*oleh SAP2000*)



Gambar 4. 6 Lendutan plat 24 cm oleh BGT

- Kontrol

$$\begin{aligned} \delta_{BTR} + BGT &< \Delta_{ijin} \\ 10.32 \text{ mm} + 2.991 \text{ mm} &< 32.875 \text{ mm} \\ 13.31 \text{ mm} &< 32.875 \text{ mm} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

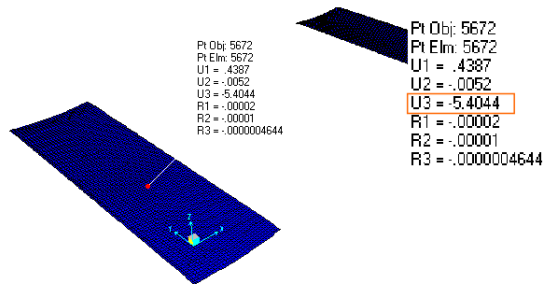
4.2.5 Kontrol Lendutan Plat 40 cm

Bentang yang ditinjau plat 40 cm ($L = 7.2 \text{ m} = 7200 \text{ mm}$)

- Lendutan ijin plat 40 cm

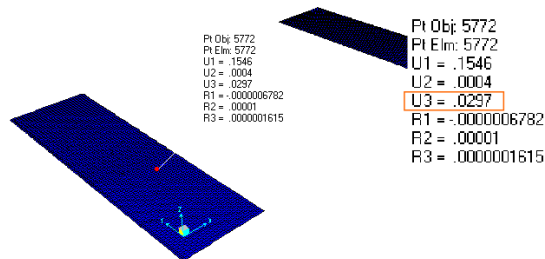
$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{7200}{800} = 9 \text{ mm}$$

- Lendutan akibat BTR (*oleh SAP2000*)



Gambar 4. 7 Lendutan plat 40 cm oleh BTR

- Lendutan akibat BGT (*oleh SAP2000*)



Gambar 4. 8 Lendutan plat 40 cm oleh BGT

- Kontrol

$$\delta_{BTR} + \delta_{BGT} < \Delta_{ijin}$$

$$5.404 \text{ mm} + 0.0297 \text{ mm} < \text{mm}$$

$$5.43 \text{ mm} < 9 \text{ mm (OK)}$$

4.3 Perencanaan Balok Girder

Penentuan dimensi tinggi gelagar (h) dan lebar gelagar (bw) yaitu :

$$\begin{aligned} &= 1/12 L \geq h \geq 1/15 L \\ &= 1/12 (26300 \text{ mm}) \geq h \geq 1/15 (26300 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Maka untuk menentukan tinggi gelagar dilakukan pendekatan dengan batas minimal tinggi 1750 mm dan tinggi maksimal 2190 mm, dari persyaratan diatas diambil tinggi gelagar **1800 mm**. Lalu dilakukan kontrol tinggi nominal gelagar.

$$\begin{aligned} h &\geq 165 + 0,06 L \text{ mm} \\ 1700 &\geq 165 + 0,06 (25000) \text{ mm} \\ 1700 &\geq 1665 \text{ mm} \end{aligned}$$

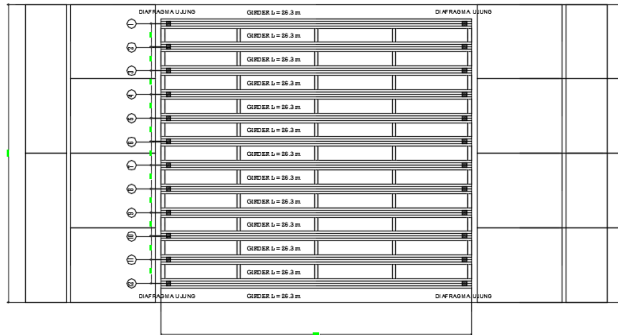
Karena tinggi gelagar yang diambil lebih besar dari syarat maka tinggi yang diambil memenuhi kontrol tinggi nominal gelagar.

$$\begin{aligned} \text{Lebar gelagar} &= 1/3 h \geq bw \geq 2/3 h \\ &= 1/3 (1800 \text{ mm}) \geq bw \geq 2/3 (1800 \text{ mm}) \\ &= 600 \text{ mm} \geq bw \geq 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi lebar gelagar (bw) yang digunakan adalah **800 mm**.

Perhitungan Jumlah Gelagar (n)

$$\begin{aligned} n &= (\text{Lebar Lantai kendaraan} / \text{Jarak antar gelagar}) + 1 \\ &= (25.2 \text{ m} / 2 \text{ m}) + 1 \\ &= 11,96 = 12 \text{ (dibulatkan)} \end{aligned}$$



Gambar 4. 9 Denah Balok Girder

4.3.1 Analisis Gaya Dalam

Didapatkan gaya dalam maksimal yang terjadi akibat kombinasi ultimit melalui program bantu SAP2000:

Girder seksi 1

$P_{\max} = 357.467 \text{ T Komb. 2 (BGT 2 - BTR 3)}$

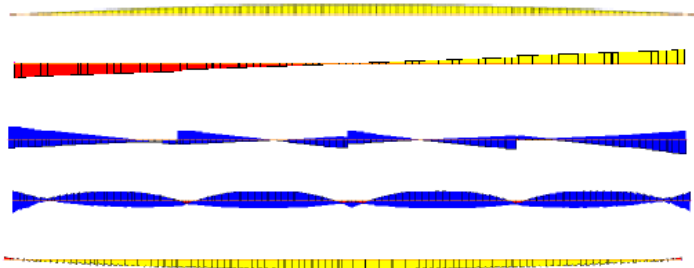
$V_x_{\max} = 135.723 \text{ T Komb. 3 (BGT 2 - BTR 3)}$

$V_y_{\max} = 17.389 \text{ T Komb. 5}$

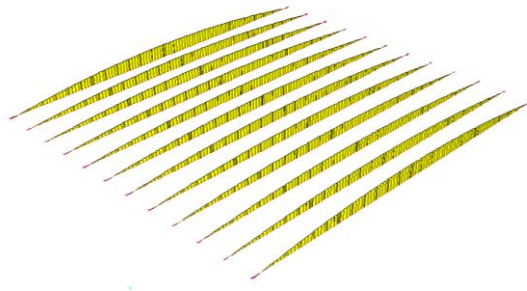
$T_{\max} = 26.76 \text{ T Komb 5}$

$M_x_{\max} = 12.26 \text{ T Komb. 5}$

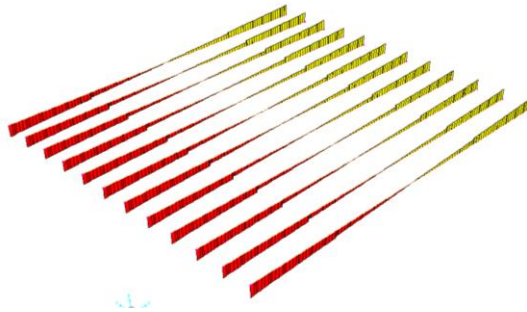
$M_y_{\max} = 121.92 \text{ T Komb. 3 (BGT 2 - BTR 3)}$



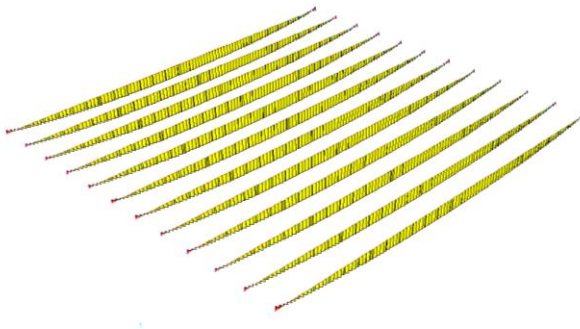
Gambar 4. 10 Diagram gaya Aksial, Geser, Momen (dari atas)



Gambar 4. 11 Diagram gaya aksial pada keseluruhan girder



Gambar 4. 12 Diagram gaya geser pada girder



Gambar 4. 13 Diagram momen pada girder

Adapun kebutuhan tulangan pada girder berdasarkan kebutuhan ast_{max} yang telah diperoleh oleh program bantu SAP2000 dan penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Perhitungan Penulangan Girder Tepi Seksi 1

Girder Seksi 1		
Beton :	$f_c' = 25$	Mpa
Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa (Plain <D13)
	$f_y = 410$	Mpa (Deform \geq D13)
cover	$d' = 60$	mm
Potongan	Tumpuan	Lapangan
b (mm)	700	700
h (mm)	1800	1800
<u>Tul. Atas</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	3429	1831
Penulangan	7 - D25	4 - D25
As Pasang (mm^2)	3436	1963
Jarak (mm)	68	160
Cek	OK	OK
<u>Tul. Bawah</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	3771	3060
Penulangan	8 - D25	7 - D25
As Pasang (mm^2)	3927	3436
Jarak (mm)	54	68
Cek	OK	OK
<u>Tul. Torsi</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2500	2475
Penulangan	2x3 - D25	2x3 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	2945
Cek	OK	OK
<u>Tul. Sengkang</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	1.53	0.67
Penulangan	2 x D16 - 200	2 x D16 - 300
As Pasang (mm^2/m)	2.01	1.34
S MaX (D/2 atau 600)	1711.50	1711.50
Cek	OK	OK

Tabel 4. 5 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 2

Girder Seksi 2		
Beton :	$f_c' = 25$	Mpa
Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa (Plain <D13)
	$f_y = 410$	Mpa (Deform \geq D13)
cover	$d' = 60$	mm
Potongan	Tumpuan	Lapangan
b (mm)	700	700
h (mm)	1800	1800
<u>Tul. Atas</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2753	1661
Penulangan	6 - D25	4 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	1963
Jarak (mm)	86	160
Cek	OK	OK
<u>Tul. Bawah</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	3771	3032
Penulangan	8 - D25	7 - D25
As Pasang (mm^2)	3927	3436
Jarak (mm)	54	68
Cek	OK	OK
<u>Tul. Torsi</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2500	2499
Penulangan	2x3 - D25	2x3 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	2945
Cek	OK	OK
<u>Tul. Sengkang</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	1.05	0.60
Penulangan	2 x D16 - 300	2 x D16 - 300
As Pasang (mm^2/m)	1.34	1.34
S MaX (D/2 atau 600)	1711.50	1711.50
Cek	OK	OK

Tabel 4. 6 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 3

Girder Seksi 3		
Beton :	$f_c' = 25$	Mpa
Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa (Plain < D13)
	$f_y = 410$	Mpa (Deform \geq D13)
cover	$d' = 60$	mm
Potongan	Tumpuan	Lapangan
b (mm)	700	700
h (mm)	1800	1800
<u>Tul. Atas</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2731	1606
Penulangan	6 - D25	4 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	1963
Jarak (mm)	86	160
Cek	OK	OK
<u>Tul. Bawah</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	3777	2990
Penulangan	8 - D25	7 - D25
As Pasang (mm^2)	3927	3436
Jarak (mm)	54	68
Cek	OK	OK
<u>Tul. Torsi</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2500	2403
Penulangan	2x3 - D25	2x3 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	2945
Cek	OK	OK
<u>Tul. Senggang</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	0.97	0.00
Penulangan	2 x D16 - 300	2 x D16 - 300
As Pasang (mm^2/m)	1.34	1.34
S MaX (D/2 atau 600)	1711.50	1711.50
Cek	OK	OK

Tabel 4. 7 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 4

Girder Seksi 4		
Beton :	$f_c' = 25$	Mpa
Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa (Plain <D13)
	$f_y = 410$	Mpa (Deform \geq D13)
cover	$d' = 60$	mm
Potongan	Tumpuan	Lapangan
b (mm)	700	700
h (mm)	1800	1800
<u>Tul. Atas</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2744	1571
Penulangan	6 - D25	4 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	1963
Jarak (mm)	86	160
Cek	OK	OK
<u>Tul. Bawah</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	3800	2962
Penulangan	8 - D25	7 - D25
As Pasang (mm^2)	3927	3436
Jarak (mm)	54	68
Cek	OK	OK
<u>Tul. Torsi</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2500	2326
Penulangan	2x3 - D25	2x3 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	2945
Cek	OK	OK
<u>Tul. Senggang</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	0.94	0.51
Penulangan	2 x D16 - 300	2 x D16 - 300
As Pasang (mm^2/m)	1.34	1.34
S MaX (D/2 atau 600)	1711.50	1711.50
Cek	OK	OK

Tabel 4. 8 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 5

Girder Seksi 5		
Beton :	$f_c' = 25$	Mpa
Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa (Plain <D13)
	$f_y = 410$	Mpa (Deform \geq D13)
cover	$d' = 60$	mm
Potongan	Tumpuan	Lapangan
b (mm)	700	700
h (mm)	1800	1800
<u>Tul. Atas</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2291	1516
Penulangan	5 - D25	4 - D25
As Pasang (mm^2)	2454	1963
Jarak (mm)	114	160
Cek	OK	OK
<u>Tul. Bawah</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	3827	2916
Penulangan	8 - D25	6 - D25
As Pasang (mm^2)	3927	2945
Jarak (mm)	54	86
Cek	OK	OK
<u>Tul. Torsi</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2500	2210
Penulangan	2x3 - D25	2x3 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	2945
Cek	OK	OK
<u>Tul. Sengkang</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	0.88	0.50
Penulangan	2 x D16 - 300	2 x D16 - 300
As Pasang (mm^2/m)	1.34	1.34
S MaX (D/2 atau 600)	1711.50	1711.50
Cek	OK	OK

Tabel 4. 9 Perhitungan Penulangan Girder Seksi 6

Girder Seksi 6		
Beton :	$f_c' = 25$	Mpa
Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa (Plain <D13)
	$f_y = 410$	Mpa (Deform \geq D13)
cover	$d' = 60$	mm
Potongan	Tumpuan	Lapangan
b (mm)	700	700
h (mm)	1800	1800
<u>Tul. Atas</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2807	1531
Penulangan	6 - D25	4 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	1963
Jarak (mm)	86	160
Cek	OK	OK
<u>Tul. Bawah</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	3835	2919
Penulangan	8 - D25	6 - D25
As Pasang (mm^2)	3927	2945
Jarak (mm)	54	86
Cek	OK	OK
<u>Tul. Torsi</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	2500	2191
Penulangan	2x3 - D25	2x3 - D25
As Pasang (mm^2)	2945	2945
Cek	OK	OK
<u>Tul. Senggang</u>		
As Perlu (mm^2) Output SAP	0.97	0.50
Penulangan	2 x D16 - 300	2 x D16 - 300
As Pasang (mm^2/m)	1.34	1.34
S MaX (D/2 atau 600)	1711.50	1711.50
Cek	OK	OK

Tabel 4. 10 Rekapitulasi kebutuhan penulangan pada girder

		Girder 1	Girder 2	Girder 3	Girder 4	Girder 5	Girder 6
Atas (n)	Tumpuan	7	6	6	6	5	6
	Lapangan	4	4	4	4	4	4
Bawah (n)	Tumpuan	8	8	8	8	8	8
	Lapangan	7	7	7	7	6	6
Torsi (n)	Tumpuan	6	6	6	6	6	6
	Lapangan	6	6	6	6	6	6
Sengkang (mm2)	Tumpuan	200	300	300	300	300	300
	Lapangan	300	300	300	300	300	300

4.3.2 Kontrol Lendutan Girder

Bentang yang ditinjau $L = 26.3 \text{ m} = 26300$

- Lendutan ijin

$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{26300}{800} = 32.875 \text{ mm}$$

- Lendutan akibat BTR (*oleh SAP2000*)



Gambar 4. 14 Lendutan girder oleh BTR

- Lendutan akibat BGT (*oleh SAP2000*)



Gambar 4. 15 Lendutan girder oleh BGT

- Kontrol

$$\delta_{BGT} + \delta_{BTR} < \Delta_{ijin}$$

$$10.31 \text{ mm} + 3.001 \text{ mm} < 32.875 \text{ mm}$$

$$13.311 \text{ mm} < 32.875 \text{ mm (OK)}$$

4.4 Perencanaan Diafragma

Diafragma pada jembatan berfungsi untuk membantu girder menahan torsi dan lendutan yang terjadi pada girder jembatan. Diafragma tidak di desain ikut menahan pelat lantai.

Data perencanaan :

$$\begin{aligned}\text{Panjang diafragma } (L) &= 1300 \text{ mm} \\ \text{Tinggi diafragma } (H) &= 800 \text{ mm} \\ \text{Lebar diafragma } (B) &= 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Penentuan tinggi diafragma (hd) dan lebar diafragma (bd) yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Tinggi Diafragma} &= hd \geq 165 + 0,06 S \text{ mm} \\ &= hd \geq 165 + 0,06 (2000) \text{ mm} \\ &= hd \geq 285 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka untuk tinggi diafragma yang diambil agar memenuhi syarat adalah *800 mm*.

$$\begin{aligned}\text{Lebar Diafragma} &= hd/3 \geq 300 \text{ mm} \\ &= 800 / 3 \geq 300 \text{ mm} \\ &= 266,67 \geq 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka untuk lebar diafragma yang diambil agar memenuhi syarat adalah *300 mm*.

4.4.1 Analisis Gaya Dalam

Didapatkan gaya dalam maksimal yang terjadi akibat kombinasi ultimit melalui program bantu SAP2000:

Diafragma tepi (seksi 1)

$P_{\max} = 461.518 \text{ kN Komb. 5}$
 $V_{\max} = 237.589 \text{ kN Komb. 3 (BGT 3 - BTR 3)}$
 $T_{\max} = 6.2431 \text{ kN Komb 4}$
 $M_{\max} = 34.41 \text{ kN Komb. 3 (BGT 3 - BTR 3)}$

Ket :

P = Aksial

V = Geser

T = Torsi

M = Momen

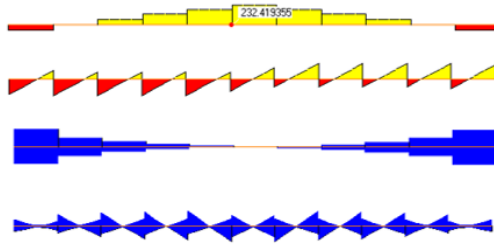
Diafragma tengah (seksi 3)

$P_{\max} = 288.704 \text{ kN Komb. 3 (BGT 2 - BTR 3)}$

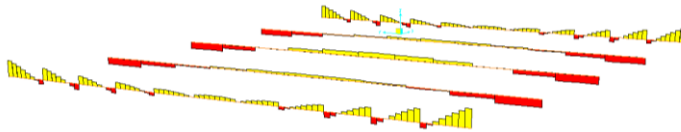
$V_{\max} = 181.76 \text{ kN Komb. 3 (BGT 1 - BTR 3)}$

$T_{\max} = 0.0869 \text{ kN Komb 4}$

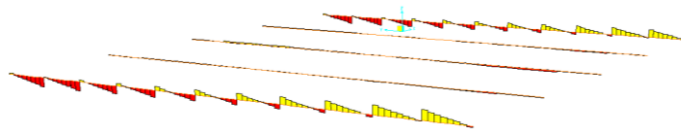
$M_{\max} = 177.864 \text{ kN Komb. 5}$



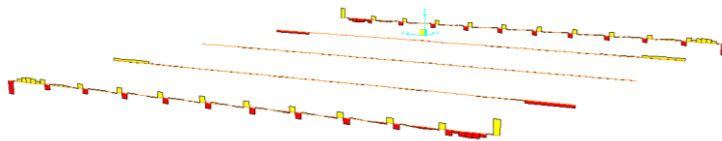
Gambar 4. 16 Diagram gaya Aksial, Geser, Torsi, dan Momen (dari atas) pada diafragma seksi tengah



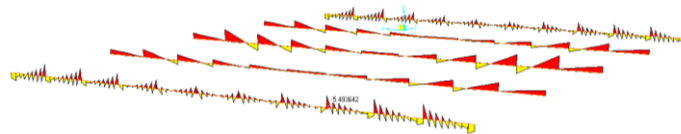
Gambar 4. 17 Diagram gaya aksial pada diafragma oleh BTR



Gambar 4. 18 Diagram gaya geser pada diafragma oleh BTR



Gambar 4. 19 Diagram gaya torsi pada diafragma oleh BTR



Gambar 4. 20 Diagram momen pada diafragma oleh BTR

Adapun kebutuhan tulangan pada diafragma berdasarkan kebutuhan $a_{st\ max}$ yang telah diperoleh oleh program bantu SAP2000 dan penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Perhitungan Penulangan Diafragma Seksi 1 dan 2

Diafragma 1		Diafragma 2	
Beton :	$f_c' = 21$ Mpa	Beton :	$f_c' = 21$ Mpa
Tulangan :	$f_y = 240$ Mpa (Plain <D13)	Tulangan :	$f_y = 240$ Mpa (Plain <D13)
	$f_y = 410$ Mpa (Deform \geq D13)		$f_y = 410$ Mpa (Deform \geq D13)
cover	$d' = 50$ mm	cover	$d' = 50$ mm
Potongan		Potongan	
b (mm)	300	b (mm)	300
h (mm)	800	h (mm)	800
Tul. Atas		Tul. Atas	
As Perlu (mm^2) Output SAP	342	As Perlu (mm^2) Output SAP	645
Penulangan	2 - D16	Penulangan	4 - D16
As Pasang (mm^2)	402	As Pasang (mm^2)	804
Jarak (mm)	168	Jarak (mm)	45
Cek	OK	Cek	OK
Tul. Bawah		Tul. Bawah	
As Perlu (mm^2) Output SAP	383	As Perlu (mm^2) Output SAP	602
Penulangan	2 - D16	Penulangan	3 - D16
As Pasang (mm^2)	402	As Pasang (mm^2)	603
Jarak (mm)	168	Jarak (mm)	76
Cek	OK	Cek	OK
Tul. Torsi		Tul. Torsi	
As Perlu (mm^2) Output SAP	437	As Perlu (mm^2) Output SAP	0
Penulangan	2x2 - D16	Penulangan	2x0 - D16
As Pasang (mm^2)	804	As Pasang (mm^2)	0
Cek	OK	Cek	Check
Tul. Sengkang		Tul. Sengkang	
As Perlu (mm^2) Output SAP	1.25	As Perlu (mm^2) Output SAP	1.18
Penulangan	2 x D16 - 300	Penulangan	2 x D16 - 300
As Pasang (mm^2/m)	1.34	As Pasang (mm^2/m)	1.34
S MaX (d/2 atau 600)	726.00	S MaX (d/2 atau 600)	726.00
Cek	OK	Cek	OK

Tabel 4. 12 Perhitungan Penulangan Diafragma Seksi 3 dan 4

Diafragma 3				Diafragma 4			
Beton :	$f_c' = 21$	Mpa		Beton :	$f_c' = 21$	Mpa	
Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa	(Plain < D13)	Tulangan :	$f_y = 240$	Mpa	(Plain < D13)
	$f_y = 410$	Mpa	(Deform \geq D13)		$f_y = 410$	Mpa	(Deform \geq D13)
cover	$d' = 50$	mm		cover	$d' = 50$	mm	
Potongan				Potongan			
b (mm)		300		b (mm)		300	
h (mm)		800		h (mm)		800	
Tul. Atas				Tul. Atas			
As Perlu (mm^2) Output SAP		757		As Perlu (mm^2) Output SAP		678	
Penulangan		4 - D16		Penulangan		4 - D16	
As Pasang (mm^2)		804		As Pasang (mm^2)		804	
Jarak (mm)		45		Jarak (mm)		45	
Cek		OK		Cek		OK	
Tul. Bawah				Tul. Bawah			
As Perlu (mm^2) Output SAP		757		As Perlu (mm^2) Output SAP		630	
Penulangan		4 - D16		Penulangan		4 - D16	
As Pasang (mm^2)		804		As Pasang (mm^2)		804	
Jarak (mm)		45		Jarak (mm)		45	
Cek		OK		Cek		OK	
Tul. Torsi				Tul. Torsi			
As Perlu (mm^2) Output SAP		0		As Perlu (mm^2) Output SAP		0	
Penulangan		2x2 - D16		Penulangan		2x0 - D16	
As Pasang (mm^2)		804		As Pasang (mm^2)		0	
Cek		OK		Cek		Check	
Tul. Sengkang				Tul. Sengkang			
As Perlu (mm^2) Output SAP		1.42		As Perlu (mm^2) Output SAP		1.22	
Penulangan		2 x D16 - 200		Penulangan		2 x D16 - 200	
As Pasang (mm^2/m)		2.01		As Pasang (mm^2/m)		2.01	
S Max ($d/2$ atau 600)		726.00		S Max ($d/2$ atau 600)		726.00	
Cek		OK		Cek		OK	

Tabel 4. 13 Perhitungan Penulangan Diafragma Seksi 5

Diafragma 5	
Beton :	fc' = 21 Mpa
Tulangan :	fy = 240 Mpa (Plain < D13)
	fy = 410 Mpa (Deform ≥ D13)
cover	d' = 50 mm
Potongan	
b (mm)	300
h (mm)	800
Tul. Atas	
As Perlu (mm ²) Output SAP	370
Penulangan	2 - D16
As Pasang (mm ²)	402
Jarak (mm)	168
Cek	OK
Tul. Bawah	
As Perlu (mm ²) Output SAP	395
Penulangan	2 - D16
As Pasang (mm ²)	402
Jarak (mm)	168
Cek	OK
Tul. Torsi	
As Perlu (mm ²) Output SAP	437
Penulangan	2x2 - D16
As Pasang (mm ²)	804
Cek	OK
Tul. Sengkang	
As Perlu (mm ²) Output SAP	1.30
Penulangan	2 x D16 - 300
As Pasang (mm ² /m)	1.34
S Max (d/2 atau 600)	726.00
Cek	OK

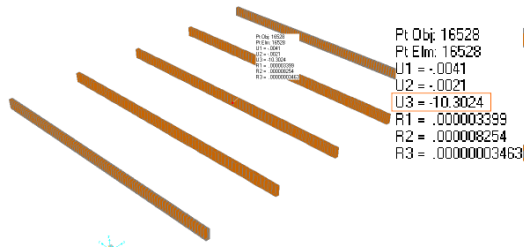
4.4.2 Kontrol Lendutan Diafragma

Bentang yang ditinjau $L = 25.2 \text{ m} = 25200$

- Lendutan ijin

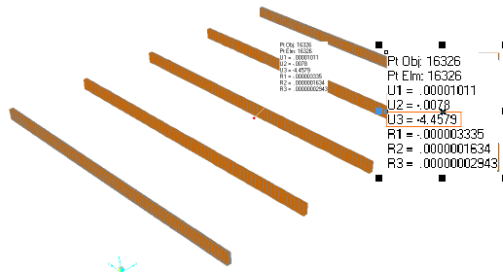
$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{25200}{800} = 31.5 \text{ mm}$$

- Lendutan akibat BTR (*oleh SAP2000*)



Gambar 4. 21 Lendutan diafragma oleh BTR

- Lendutan akibat BGT (*oleh SAP2000*)



Gambar 4. 22 Lendutan difragma oleh BGT

- Kontrol

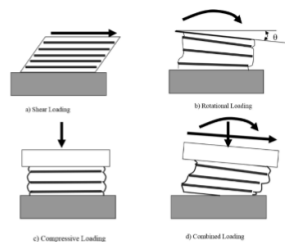
$$\delta_{\text{BGT}} + \text{BTR} < \Delta_{\text{ijin}}$$

$$10.3 \text{ mm} + 4.579 \text{ mm} < 32.875 \text{ mm}$$

$$14.579 \text{ mm} < 32.875 \text{ mm (OK)}$$

4.5 Perletakan Elastomer

Elastomeric bearing terbuat dari karet yang sudah dicampur dengan neoprene (aditif yang memperbaiki sifat karet alam murni) dan di dalamnya diselipkan berlapis-lapis pelat baja dengan ketebalan dan jarak tertentu untuk memperkuat sifat tegarnya. Walaupun elastomer utama ini tidak mutlak berperilaku sebagai ‘sendi’ atau ‘roll’ murni, tapi dalam actual fisik di lapangan, jembatan-jembatan yang menggunakan tipe tumpuan seperti ini berperilaku layaknya bertumpuan sendi-roll murni dalam pemodelan (komputer). Memang ada banyak tambahan komponen selain tumpuan utama mencapai keadaan tersebut dan perilakunya menyerupai mekanika sendi-roll.

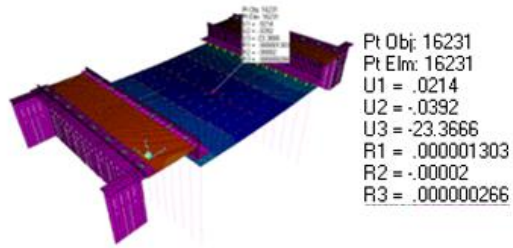


Gambar 4. 23 Jenis Pembebanan Pada Steel Reinforced Elastomeric Pad (Primus dan Marcus, 2007)

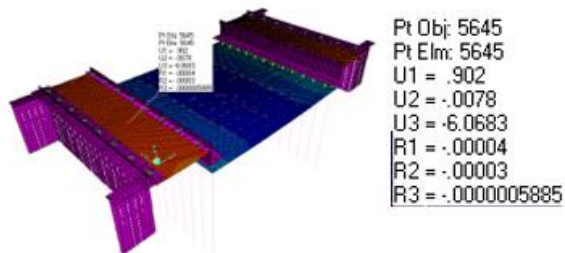
Tabel 4. 14 Hasil nilai linier dan non-linier dari elastomer LRB untuk program bantu SAP2000

	Group	Linear Properties	Non-Linear Properties				Linear/Non Linear Properties
		$K_{H,1}$ [kN/m]	$K_{H,2}$ [kN/m]	F_y [kN]	$K_{H,2} / K_{H,1}$		K_y [kN/m]
$F_y = 5\% W$	1	9062,7	906,3	69,4	0,1		453 133,4
	2	23 527,2	2352,7	109,4	0,1		1 176 361,1
	3	29 702,3	2970,2	153,9	0,1		1 485 116,5
$F_y = 2,5\% W$	1	9226,0	922,6	35,3	0,1		461 301,2
	2	23 785,3	2378,5	55,4	0,1		1 189 265,7
	3	30 070,6	3007,1	77,0	0,1		1 503 528,3

4.6 Kontrol Lendutan Jembatan



Gambar 4. 24 Lendutan jembatan pada tengah bentang

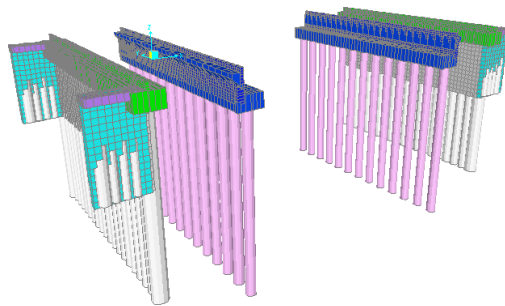


Gambar 4. 25 Lendutan jembatan pada bentang tepi

BAB V

ANALISA STRUKTUR BANGUNAN BAWAH

Elemen bangunan bawah jembatan berfungsi untuk menyalurkan beban – beban (baik beban hidup maupun beban mati) dari bangunan atas ke pondasi jembatan dan menahan tekanan tanah serta beban – beban aksi lingkungan lainnya. Dalam perencanaan Jembatan Kartoharjo ini bangunan bawah yang dimaksudkan adalah Abutment dan Pilar dimana akan direncanakan pula elemen – elemen penyusun dan pelengkapinya



Gambar 5. 1 Tampak perspektif struktur Jembatan Kartoharjo



Gambar 5. 2 Tampak samping struktur Jembatan Kartoharjo

5.1 Perencanaan Pilar

Dalam perencanaan pilar menggunakan acuan dari peraturan BMS BDM 1992 dan BMS BDC 1992. Pilar terdiri dari beberapa elemen, yaitu longitudinal stopper, lateral stopper, pier head dan pondasi (*bored pile*) yang sekaligus menjadi kolom pilar. Penulangan pilar direncanakan dari analisis elemen – elemen pilar jembatan. Analisa pembebanan untuk pilar terdiri atas beban dari bangunan atas baik beban hidup maupun mati, beban mati pilar, beban rem, beban angin, beban tekanan tanah aktif, tekanan tanah dinamis akibat gempa serta beban gempa. Berikut ini adalah analisis pembebanan serta elemen – elemen penyusun pilar.

Pada Tugas Akhir ini Struktur Jembatan Kartoharjo, bangunan bawah (pilar) direncanakan sebanyak 2 buah (3 segmen) sesuai dengan bentang maksimum yang diizinkan.

Data – data perencanaan Pilar :

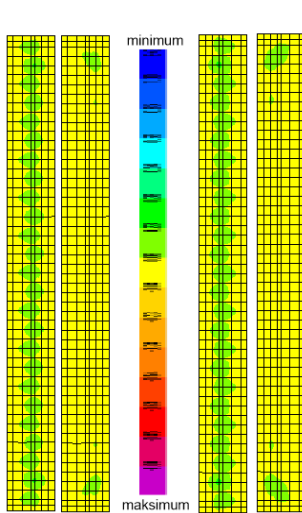
Elevasi Lantai Kendaraan	= 0,00 m
Elevasi Muka Tanah Asli	= -4,05 m
Elevasi Muka Air Banjir	= -4,37 m
Tinggi Pier Head	= 3,60 m
Lebar Pier Head	= 2,86 m
Kedalaman Bored Pile	= 18.8 m
Type Pilar	= Portal Pilar
Pondasi	= Sumuran (<i>Bored Pile</i>)

5.1.1 Plat Pier Head Pilar

Dalam mencari momen maksimum pada plat, digunakan kombinasi 4 dan 5 layan :

$$[4] \ 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQx + 0.3EQy$$

$$[5] \ 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQy + 0.3EQx$$



Gambar 5. 3 Kontur momen maksimum M11 dan M22 (span kiri dan span kanan) pier head

Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

Span kiri

- Mx Lapangan : 316.315 Tm/m
- Mx Tumpuan : 312.707 Tm/m
- My Lapangan : 210.498 Tm/m
- My Tumpuan : 247.877 Tm/m

Span kanan

- Mx Lapangan : 350.729 Tm/m
- Mx Tumpuan : 328.126 Tm/m
- My Lapangan : 248.133 Tm/m
- My Tumpuan : 282.639 Tm/m

Dari Momen diatas makan didapatkan kebutuhan tulangan minimum sebagai berikut :

Tabel 5. 1 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head
pilar span kiri

<i>M e m b r a n j u n g</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	210.49	247.88
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	<i>Penulangan</i>			
			D22-150	D22-100
	Ast Terpasang		5068.436148	7602.654222
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		2078058.821	3117088.231
	a = T/0.85*f'c*b		117.8204859	176.7307289
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	227.2714343	333.5620144
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Tabel 5. 2 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head
pilar span kanan

<i>M e m b r a n i n i t i a l</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	312.71	316.315
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	<i>Penulangan</i>			
			D22-100	D22-100
	Ast Terpasang		7602.654222	7602.654222
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		3117088.231	3117088.231
	a = T/0.85*f'c*b		176.7307289	176.7307289
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	339.5468238	339.5468238
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Tabel 5. 3 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head
pilar span kanan

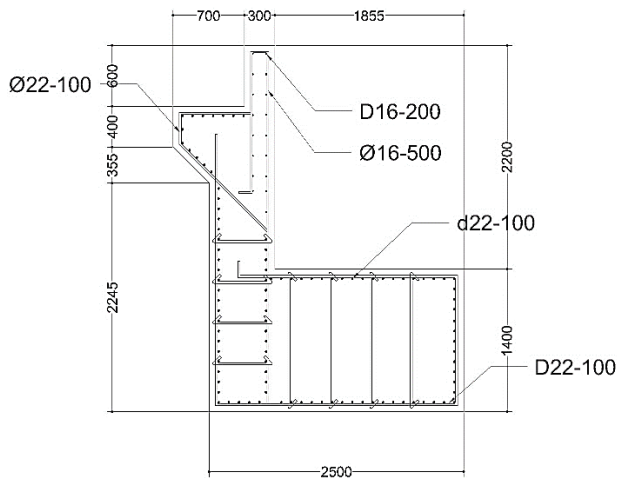
<i>M e m b e r a n j a n n g a n g</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	248.23	282.64
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	<i>Penulangan</i>			
			D22-100	D22-100
	Ast Terpasang		7602.654222	7602.654222
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		3117088.231	3117088.231
	a = T/0.85*f'c*b		176.7307289	176.7307289
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	333.5620144	333.5620144
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Tabel 5. 4 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head
pilar span kanan

<i>M e l i n t a n g</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	328.54	350.73
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	<i>Penulangan</i>			
			D22-100	D22-90
	Ast Terpasang		7602.654222	8447.39358
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		3117088.231	3463431.368
	a = T/0.85*f'c*b		176.7307289	196.3674766
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	339.5468238	374.5538275
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Dari table diatas didapatkan tulangan utama dan tulangan bagi minimum. Maka ditetapkan untuk plat pier head menggunakan tulangan :

Tulangan utama D22-100 (tumpuan) dan D22-100 (lapangan), tulangan bagi D22-100 (tumpuan) D22-100 (lapangan). (*Pier Head Pilar span kiri dan kanan*)



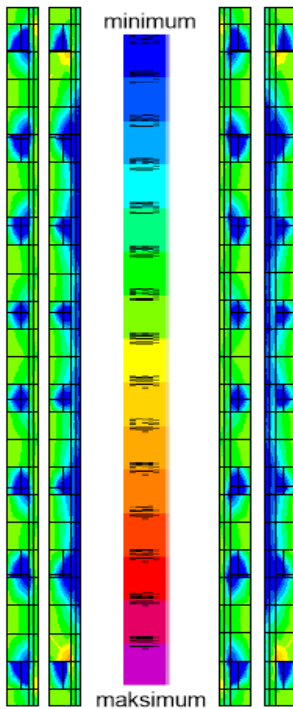
Gambar 5. 4 Potongan melintang tulangan pier head pilar

5.1.2 Plat Korbel Pilar

Dalam mencari momen maksimum pada plat, digunakan kombinasi 4 dan 5 layan :

$$[4] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_x + 0.3EQ_y$$

$$[5] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_y + 0.3EQ_x$$



Gambar 5. 5 Kontur momen maksimum M11 dan M22 (span kiri dan span kanan) korbel

Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

Span kiri

- Mx Lapangan : 44.766 Tm/m
- Mx Tumpuan : 78.33 Tm/m
- My Lapangan : 44.807 Tm/m
- My Tumpuan : 142.37 Tm/m

Span kanan

- Mx Lapangan : 47.83 Tm/m
- Mx Tumpuan : 77.91 Tm/m
- My Lapangan : 47.89 Tm/m
- My Tumpuan : 148.97 Tm/m

Dari Momen diatas makan didapatkan kebutuhan tulangan minimum sebagai berikut :

Tabel 5. 5 Kebutuhan tulangan memanjang minimum korbel pilar
span kiri

M e m b e r a n j a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	44.81	142.3
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	Penulangan			
			D16-400	D16-100
	Ast Terpasang		1005.309649	4021.238597
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		412176.9562	1648707.825
	a = T/0.85*f'c*b		23.36935258	93.47741032
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	46.63585481	181.9199111
			OK	OK

Tabel 5. 6 Kebutuhan tulangan melintang minimum korbel pilar
span kiri

M e l i n t a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	44.766	78.33
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	Penulangan			
			D16-400	D16-200
	Ast Terpasang		1005.309649	2010.619298
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		412176.9562	824353.9123
	a = T/0.85*f'c*b		23.36935258	46.73870516
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	47.42723457	94.08388445
			OK	OK

Tabel 5. 7 Kebutuhan tulangan memanjang minimum korbel pilar span kanan

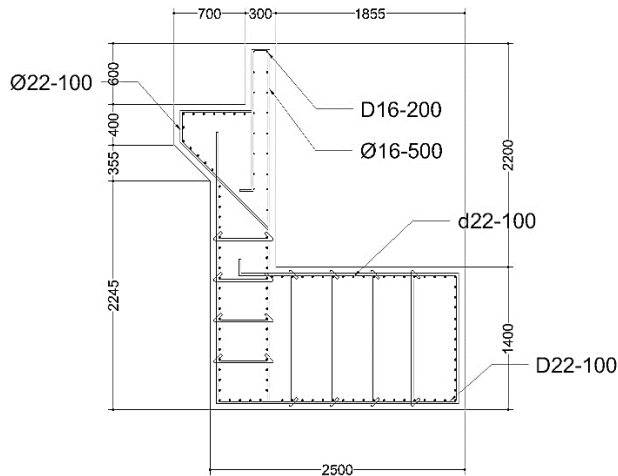
<i>M e l i n g</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	47.89	148.98
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	<i>Penulangan</i>			
			D16-300	D16-100
	Ast Terpasang		1340.412866	4021.238597
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		549569.2749	1648707.825
	a = T/0.85*f'c*b		31.15913677	93.47741032
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	62.00989871	181.9199111
			OK	OK

Tabel 5. 8 Kebutuhan tulangan melintang minimum korbel pilar span kanan

<i>M e l i n g</i>	<i>Lapangan</i>			<i>Tumpuan</i>
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	47.84	77.91
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	<i>Penulangan</i>			
			D16-300	D16-200
	Ast Terpasang		1340.412866	2010.619298
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		549569.2749	824353.9123
	a = T/0.85*f'c*b		31.15913677	46.73870516
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	63.06507172	94.08388445
			OK	OK

Dari table diatas didapatkan tulangan utama dan tulangan bagi minimum. Maka ditetapkan untuk plat pier head menggunakan tulangan :

Tulangan utama D22-100 (tumpuan) dan D22-100 (lapangan), tulangan bagi D22-100 (tumpuan) D22-100 (lapangan). (*korbel pilar span kiri dan span kanan*)



Gambar 5. 6 Potongan melintang tulangan pier head pilar (korbel)

5.1.3 Plat Longitudinal Stopper Pilar

Dalam mencari momen maksimum pada plat, digunakan kombinasi 4 dan 5 layan :

$$[4] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQx + 0.3EQy$$

$$[5] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQy + 0.3EQx$$

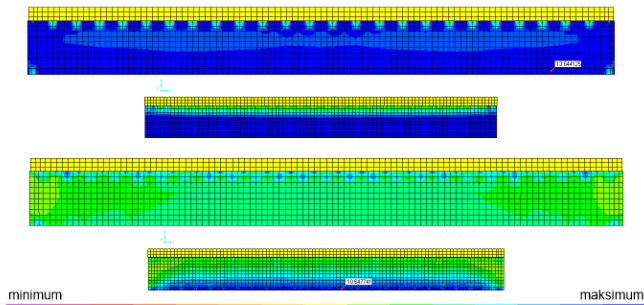
Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

Span kiri

- Mx Lapangan : 10.27 Tm/m
- Mx Tumpuan : 17.31 Tm/m
- My Lapangan : 29.25 Tm/m
- My Tumpuan : 39.41 Tm/m

Span kanan

- Mx Lapangan : 10.77 Tm/m
- Mx Tumpuan : 17.63 Tm/m
- My Lapangan : 30.41 Tm/m
- My Tumpuan : 39.99 Tm/m



Gambar 5. 7 Kontur momen maksimum M11 span kanan-span kiri dan M22 span kanan-span kiri (dari atas ke bawah) stopper pilar

Tabel 5. 9 Kebutuhan tulangan memanjang minimum stopper
pilar span kiri

M e m b r a n j e n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	29.25	39.41
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	Penulangan			
			D16-500	D16-450
	Ast Terpasang		804.2477193	893.608577
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		329741.5649	366379.5166
	a = T/0.85*f'c*b		18.69548206	20.77275785
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	37.37033063	41.49214673
			OK	OK

Tabel 5. 10 Kebutuhan tulangan melintang minimum stopper pilar
span kiri

M e l i n t a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	10.27	17.31
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	Penulangan			
			D16-500	D16-500
	Ast Terpasang		804.2477193	804.2477193
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		329741.5649	329741.5649
	a = T/0.85*f'c*b		18.69548206	18.69548206
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	38.00343443	38.00343443
			OK	OK

Tabel 5. 11 Kebutuhan tulangan melintang minimum stopper pilar span kiri

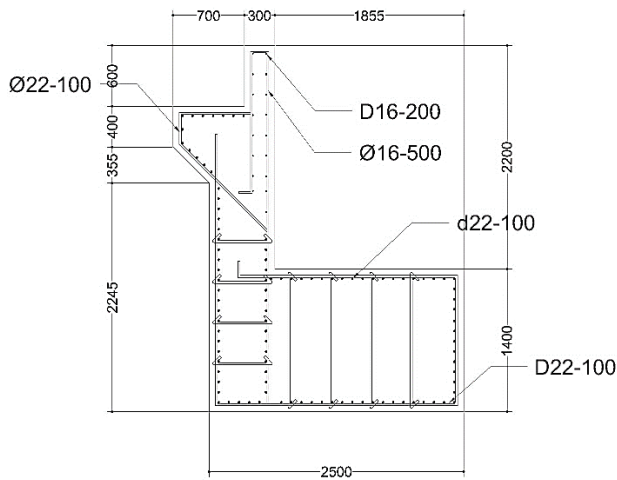
M e m b r a n j a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	30.41	39.99
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	Penulangan			
			D16-500	D16-450
	Ast Terpasang		804.2477193	893.608577
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		329741.5649	366379.5166
	a = T/0.85*f'c*b		18.69548206	20.77275785
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	37.37033063	41.49214673
			OK	OK

Tabel 5. 12 Kebutuhan tulangan melintang minimum stopper pilar span kanan

M e m b r a n j a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	10.77	17.63
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	Penulangan			
			D22-100	D22-90
	Ast Terpasang		7602.654222	8447.39358
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		3117088.231	3463431.368
	a = T/0.85*f'c*b		176.7307289	196.3674766
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	339.5468238	374.5538275
			OK	OK

Dari table diatas didapatkan tulangan utama dan tulangan bagi minimum. Maka ditetapkan untuk plat pier head menggunakan tulangan :

Tulangan utama D16-200 (tumpuan) dan D16-200 (lapangan), tulangan bagi D16-500 (tumpuan) D16-500 (lapangan). (*stopper pilar span kiri dan kanan*)



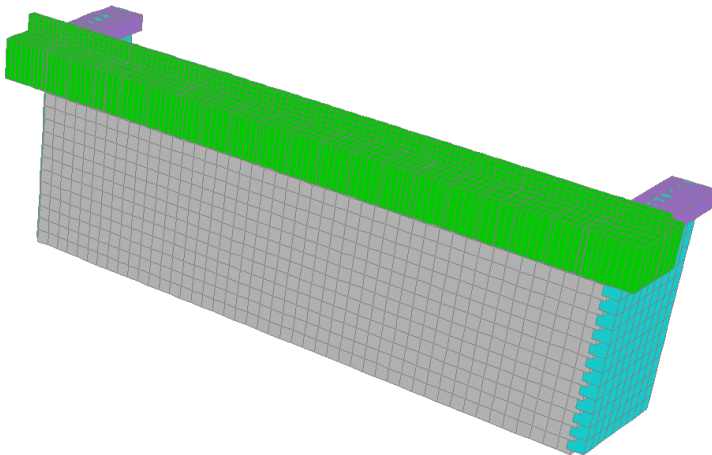
Gambar 5. 8 Potongan melintang tulangan pier head pilar (*stopper*)

5.2 Perencanaan Dinding Abutment

Perhitungan analisis dinding abutment berdasarkan pembebanan dalam keadaan batas (laya). Hal – hal yang menjadi satu dengan abutment diantaranya adalah Pier head abutment, stopper, wingwall dan dinding penahan tanah secant pile

Data – data perencanaan Pilar pada abutment :

Elevasi Lantai Kendaraan	= 0,00 m
Elevasi Muka Tanah Asli	= -4,05 m
Elevasi Muka Air Banjir	= -4,37 m
Tinggi Pier Head	= 2,10 m
Lebar Pier Head	= 2,50 m
Kedalaman Bored Pile	= 18.3 m ($\varnothing 1$ m , $\varnothing 1.5$ m)
Kedalaman Secant Pile	= 8.3 m ($\varnothing 0.6$ m , $\varnothing 1$ m)
Type Pilar	= Portal Pilar
Pondasi	= Sumuran (<i>Bored Pile</i>)



Gambar 5. 9 Tampak perspektif komponen abutment

5.2.1 Plat Pier Head Abutment

Dalam mencari momen maksimum pada plat, digunakan kombinasi 4 dan 5 layan :

$$[4] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_x + 0.3EQ_y$$

$$[5] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_y + 0.3EQ_x$$

Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

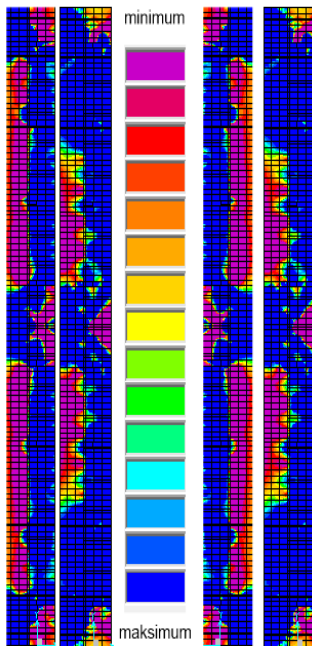
Span kiri

- Mx Lapangan : 470.77 Tm/m
- Mx Tumpuan : 1116.77 Tm/m
- My Lapangan : 291.53 Tm/m
- My Tumpuan : 348.36 Tm/m

Span kanan

- Mx Lapangan : 350.729 Tm/m
- Mx Tumpuan : 328.126 Tm/m
- My Lapangan : 248.133 Tm/m
- My Tumpuan : 282.639 Tm/m

Dari Momen diatas makan didapatkan kebutuhan tulangan minimum sebagai berikut :



Gambar 5. 10 Kontur momen maksimum M11 dan M22 (span kiri dan span kanan) pier head abutment

Tabel 5. 13 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head abutment span kiri

M e m b e r a n j a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	291.42	348.36
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	Penulangan		D25-130	D25-100
	Ast Terpasang		7551.905417	9817.477042
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		3096281.221	4025165.587
	a = T/0.85*f'c*b		175.551026	228.2163338
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	331.4815479	422.4465489
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Tabel 5. 14 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head abutment span kiri

M e l i n t a n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	471.45	1117
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	Penulangan		D25-90	D25-30
	Ast Terpasang		10908.30782	32724.92347
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		4472406.208	13417218.62
	a = T/0.85*f'c*b		253.5737042	760.7211127
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	473.4357358	1148.126901
			<u>OK</u>	<u>OK</u>

Tabel 5. 15 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head
abutment span kanan

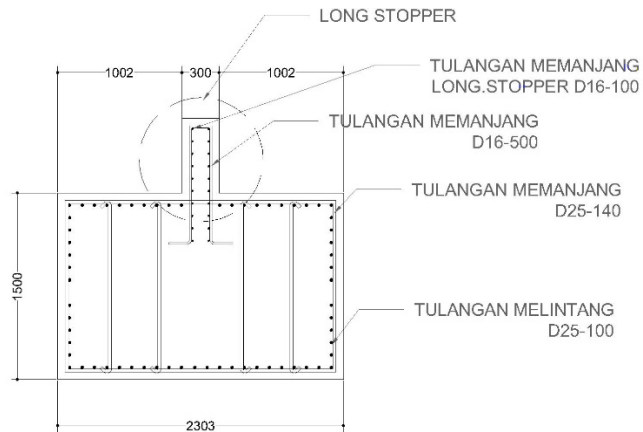
M e l i n g a n	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	304	348
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	Penulangan			
			D25-140	D25-120
	Ast Terpasang		7012.483602	8181.230869
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		2875118.277	3354304.656
	a = T/0.85*f'c*b		163.011667	190.1802782
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	309.2463801	357.1421715
			OK	OK

Tabel 5. 16 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head
abutment span kanan

M e l i n g a n	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	415	1125
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	Penulangan			
			D25-100	D25-30
	Ast Terpasang		9817.477042	32724.92347
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		4025165.587	13417218.62
	a = T/0.85*f'c*b		228.2163338	760.7211127
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	430.1748668	1148.126901
			OK	OK

Dari table diatas didapatkan tulangan utama dan tulangan bagi minimum. Maka ditetapkan untuk plat pier head menggunakan tulangan :

Tulangan utama D25-140 (tumpuan) dan D25-120 (lapangan), tulangan bagi D25-30 (tumpuan) D25-100 (lapangan). (*pier head abutment span kiri dan kanan*)



Gambar 5. 11 Potongan melintang tulangan pier head abutment

5.2.2 Plat Stopper Abutment

Dalam mencari momen maksimum pada plat, digunakan kombinasi 4 dan 5 layan :

$$[4] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_x + 0.3EQ_y$$

$$[5] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_y + 0.3EQ_x$$

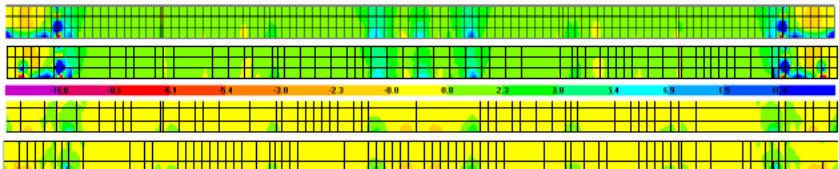
Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

Span kiri

- Mx Lapangan : 10.267 Tm/m
- Mx Tumpuan : 17.314 Tm/m
- My Lapangan : 29.254 Tm/m
- My Tumpuan : 39.41 Tm/m

Span kanan

- Mx Lapangan : 10.891 Tm/m
- Mx Tumpuan : 17.688 Tm/m
- My Lapangan : 30.414 Tm/m
- My Tumpuan : 40.119 Tm/m



Gambar 5. 12 Kontur momen maksimum M11 span kanan-span kiri dan M22 span kanan-span kiri (dari atas ke bawah) stopper abutment

Dari Momen diatas makan didapatkan kebutuhan tulangan minimum sebagai berikut :

Tabel 5. 17 Kebutuhan tulangan memanjang minimum pier head abutment span kiri

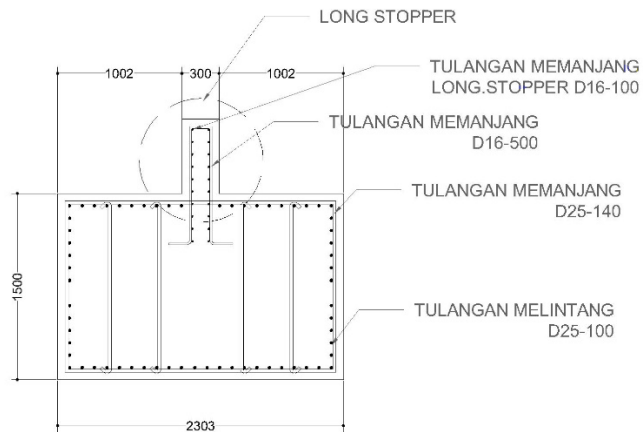
M e l i n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	29.25	39.41
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	Penulangan			
	D16-500			D16-400
	Ast Terpasang		804.2477193	1005.309649
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		329741.5649	412176.9562
	a = T/0.85*f'c*b		18.69548206	23.36935258
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	37.37033063	46.63585481
	OK			OK

Tabel 5. 18 Kebutuhan tulangan melintang minimum pier head abutment span kanan

M e l i n g	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	10.27	17.314
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	Penulangan			
	D16-500			D16-500
	Ast Terpasang		804.2477193	804.2477193
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		329741.5649	329741.5649
	a = T/0.85*f'c*b		18.69548206	18.69548206
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	38.00343443	38.00343443
	OK			OK

Dari table diatas didapatkan tulangan utama dan tulangan bagi minimum. Maka ditetapkan untuk plat pier head menggunakan tulangan :

Tulangan utama D16-500 (tumpuan) dan D16-400 (lapangan), tulangan bagi D16-100 (tumpuan dan tulangan) (*stopper abutment span kiri dan kanan*)



Gambar 5. 13 Potongan melintang tulangan pier head abutment (stopper)

5.2.3 Plat Capping Wingwall Secant Pile

Dalam mencari momen maksimum pada plat, digunakan kombinasi 4 dan 5 layan :

$$[4] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_x + 0.3EQ_y$$

$$[5] 1D + 1SD + 1EA + 1EP + 1EQ_y + 0.3EQ_x$$

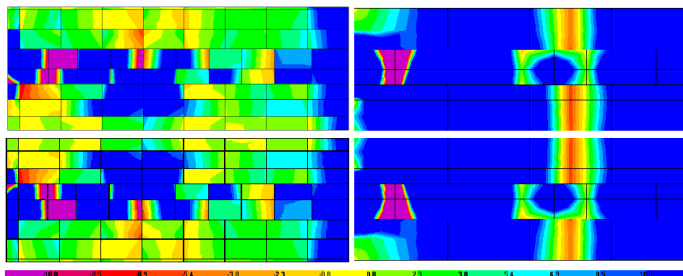
Dari program SAP2000 diperoleh output momen akibat kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

Span kiri

- Mx Lapangan : 232.85 Tm/m
- Mx Tumpuan : 304.37 Tm/m
- My Lapangan : 196.05 Tm/m
- My Tumpuan : 262.36 Tm/m

Span kanan

- Mx Lapangan : 275.23 Tm/m
- Mx Tumpuan : 300.76 Tm/m
- My Lapangan : 195.28 Tm/m
- My Tumpuan : 246.34 Tm/m



Dari Momen diatas makan didapatkan kebutuhan tulangan minimum sebagai berikut :

Tabel 5. 21 Kebutuhan tulangan memanjang minimum capping wingwall secant pile span kiri

M e m b e r i n g a n	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	196	262.36
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	Penulangan		D22-150	D22-100
	Ast Terpasang		5068.436148	7602.654222
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		2078058.821	3117088.231
	a = T/0.85*f'c*b		117.8204859	176.7307289
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	227.2714343	333.5620144
			OK	OK

Tabel 5. 22 Kebutuhan tulangan melintang minimum capping wingwall secant pile span kiri

M e l i n g a n	Lapangan			Tumpuan
	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	232.85	304.37
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	Penulangan		D22-100	D22-100
	Ast Terpasang		7602.654222	7602.654222
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		3117088.231	3117088.231
	a = T/0.85*f'c*b		176.7307289	176.7307289
	Momen Kapasitas			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	339.5468238	339.5468238
			OK	OK

Tabel 5. 23 Kebutuhan tulangan memanjang minimum capping wingwall secant pile span kanan

<i>Lapangan</i>				<i>Tumpuan</i>
<i>M e m b e r a n j a n g</i>	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	195.27	246.34
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1426	1426
	<i>Penulangan</i>		D22-150	D22-100
	Ast Terpasang		5068.436148	7602.654222
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		2078058.821	3117088.231
	a = T/0.85*f'c*b		117.8204859	176.7307289
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	227.2714343	333.5620144
			OK	OK

Tabel 5. 24 Kebutuhan tulangan melintang minimum capping wingwall secant pile span kanan

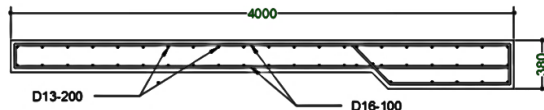
<i>Lapangan</i>				<i>Tumpuan</i>
<i>M e l i n t a n g</i>	f'c		20.75	20.75
	Mu	Tm/m	275.23	300.76
	Tebal	mm	1500	1500
	Lebar (b)	mm	1000	1000
	Cover	mm	50	50
	Tebal Efektif (d)	mm	1450	1450
	<i>Penulangan</i>		D22-100	D22-100
	Ast Terpasang		7602.654222	7602.654222
	Fy		410	410
	T = Ast*Fy		3117088.231	3117088.231
	a = T/0.85*f'c*b		176.7307289	176.7307289
	<i>Momen Kapasitas</i>			
	0.8*T*((d-a)/2)	Tm/m	339.5468238	339.5468238
			OK	OK

Dari table diatas didapatkan tulangan utama dan tulangan bagi minimum. Maka ditetapkan untuk plat pier head menggunakan tulangan :

Tulangan utama D22-100 (tumpuan) dan D22-150 (lapangan), tulangan bagi D22-100 (tumpuan dan lapangan) (*span kiri dan kanan*)

5.2.4 Perencanaan Plat Injak

Plat injak merupakan konstruksi yang terletak menempel pada abutment, dengan ditumpu pada satu sisi oleh korbel belakang abutment. Fungsi plat injak adalah mencegah terjadinya penurunan pada oprit jembatan.



Gambar 5. 14 Penulangan plat injak

Plat injak di desain agar kuat menahan berat sendiri dan beban hidup lalu lintas yang lewat di atas plat injak.

5.2.4.1 Analisa Pembebanan pada Plat Injak

Tabel 5. 25 Berat sendiri plat injak

SEGMENT	H	B	L	VOLUME	BERAT
	m	m	m	m ³	(kN)
1	0.13	0.13	25.2	0.21294	5.3235
2	0.13	1	25.2	3.276	81.9
3	0.25	4	25.2	25.2	630
4	0.3	4	25.2	30.24	756
BERAT TOTAL					1473.2235

- Berat genangan air hujan

$$\begin{aligned}
 q &= th \times L \times Ww \\
 &= 0.01 \times 4 \times 9.8 \\
 &= 0.392 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Berat plat rigid

$$\begin{aligned}
 q_r &= H \times L \times Wc \\
 &= 0.3 \times 4 \times 25 \\
 &= 30 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban UDL
 $q = 9 \text{ kN/m}^2$
 $q \text{ UDL} = q \times L$
 $= 9 \times 3.5$
 $= 31.5 \text{ kN/m}^2$

Tabel 5. 26 Rekapitulasi beban pada plat injak

No	Aksi beban	Fak. Beban	Vu (kN/m)	Bentang	Mu (kN.m)
1	Berat Sendiri	1.3	28.68894	25.2	722.961288
2	Berat UDL	1.3	31.5	25.2	793.8
3	Beban aspal	2	0	25.2	0
4	Beban air hujan	2	0.392	25.2	9.8784
5	Beban Rigid	2	30		
	Total		60.58094		1526.63969

Momen penulangan pada plat injak = $Mu \text{ tot} / \text{Bentang}$

$$= 1526.64 / 25.2$$

$$= 60.58 \text{ kNm/m}$$

5.2.4.2 Penulangan Plat Injak

f_c'	=	25	MPa	d'	=	30	mm
f_y	=	400	MPa	d'	=	300	mm
h	=	250	mm	ϕ utama	=	16	mm
b	=	1000	mm	ϕ bagi	=	13	mm

$$Mu = 60.58094 \text{ kN.m/m}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{60.58}{0.8} = 75.73$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0.85}{f_y} \times \beta_1 \times f_c' \times \frac{0.85}{f_y} \times \beta_1 \times f_c' \\
 &= \frac{0.85}{400} \times 0.85 \times 25 \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0.02709375
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_b \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.020320313
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.8 \times f_c' \times Mn} = \frac{400}{0.85 \times 25 \times 75.73 \times 1000000} = 18.82353$$

$$Rn = \frac{b \times d^2}{1000 \times 48400} = 1.56459 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = 0.004067164$$

$$\text{Cek } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0.0035 < 0.0040672 < 0.0203203 \quad \quad \quad \mathbf{OK}$$

$$\text{Maka dipakai } \rho = 0.0040672$$

Luas Tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0.004067164 \times 1000 \times 220 \\ &= 894.776015 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D 16

$$\begin{aligned} A_s &= 0.25 \times \pi \times D_2^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 256 \\ &= 200.96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jarak tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \times b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{200.96 \times 1000}{894.776015} \\ &= 224.5925199 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D 16 - 200 ($A_s = 1004.8 \text{ mm}^2$) **OK**

Tulangan bagi

$$\begin{aligned} A_s' &= 20\% \times A_s \\ &= 20\% \times 894.77602 \\ &= 178.955203 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D 13

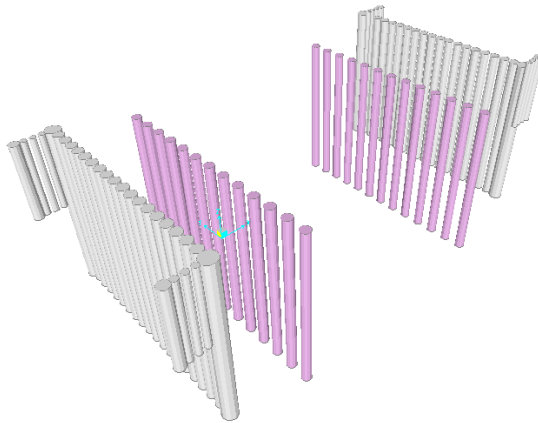
$$\begin{aligned} A_s &= 0.25 \times \pi \times D_2^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 169 \\ &= 132.665 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \times b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{132.665 \times 1000}{178.955203} \\ &= 741.3307787 \text{ mm} \end{aligned}$$

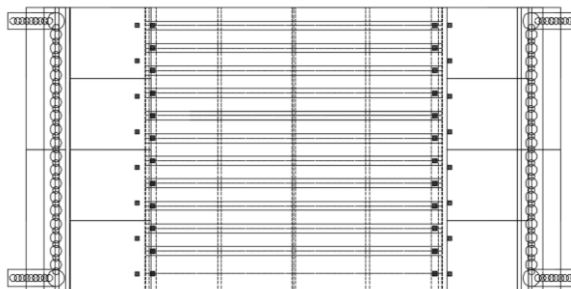
Maka dipasang tulangan utama D 13 - 200 ($A_s = 663.325 \text{ mm}^2$) **OK**

5.3 Perencanaan Pondasi (Bored Pile)

Pondasi bored pile adalah pada pondasi dalam yang berfungsi meneruskan beban bangunan kedalam lapisan tanah keras yang bila lapisan tanah dipermukaan atas tidak cukup untuk menahan beban bangunan jika hanya menggunakan pondasi dangkal.



Gambar 5. 15 Tampak perspektif struktur bored pile



Gambar 5. 16 Denah jembatan

Adapun kebutuhan pada bored pile sebagai berikut :

- Bored Pile pada pilar
 - Jumlah = 12 bh x 2 = 24 bh
 - Kedalaman = 22 m
 - Diameter = Ø 1 m
 - Jarak antar tiang = 2 m

- Bored Pile pada abutment
 - Jumlah = 20 bh x 2 = 40 bh
 - Kedalaman = 18 m
 - Diameter = Ø 1 m (36 bh)
Ø 1.5 m (4 bh)
 - Jarak antar tiang = 1.2 m

- Bored Pile pada secant pile
 - Jumlah = 4 bh x 4 = 16 bh
 - Kedalaman = 8 m
 - Diameter = Ø 0.6 m (12 bh)
Ø 1 m (4 bh)
 - Jarak antar tiang = 0.8 m

- Secant Pile K-175
 - Jumlah = 4 bh x 4 = 16 bh
 - Kedalaman = 8 m
 - Diameter = Ø 0.6 m (12 bh)
Ø 1 m (4 bh)
 - Jarak antar tiang = 0.8 m

5.3.1 Daya dukung tanah melalui nilai N-SPT

Tabel 5. 27 Nilai N-SPT Span Kiri

Depth (m)	Description	N rata2	Grafik SPT	T/N	fi		C
					T/M2	t/m	
0	Silty CLAY (CH)	0.00		0.00	0	0	0
-1	Silty CLAY (CH)	6.50		0.15	3.25	3.25	4.21
-2	Silty CLAY (CH)	12.00		0.08	6	9.25	
-3	Silty Clay with some fine sand (CH)	24.00		0.04	12	21.25	3.44
-4	Silty Clay with some fine sand (CH)	20.00		0.05	10	31.25	
-5	Silty Clay with some fine sand (CH)	12.00		0.08	6	37.25	
-6	Silty Clay with some fine sand (CH)	11.00		0.09	5.5	42.75	
-7	Fine SAND (SP)	10.00		0.10	5	47.75	2.32
-8	Sandy CLAY (SC)	25.20		0.04	12	59.75	
-9	Sandy CLAY (SC)	50.00		0.02	12	71.75	
-10	Silty CLAY (CH)	42.00		0.02	12	83.75	
-11	Silty CLAY (CH)	36.00		0.03	12	95.75	2.11
-12	Silty CLAY (CH)	43.00		0.02	12	107.75	
-13	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	119.75	
-14	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	131.75	
-15	Fine Sandy SILT (ML)	50.00		0.02	12	143.75	3.84
-16	SILT (ML)	50.00		0.02	12	155.75	
-17	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	167.75	
-18	Silty CLAY (CH)	50.00		0.02	12	179.75	
-19	Gravelly SAND (GP-SP)	50.00		0.02	12	191.75	1.54
-20	Gravelly SAND (GP-SP)	50.00		0.02	12	203.75	
-21	Gravelly SAND (GP-SP)	50.00		0.02	12	215.75	
-22	Silty Clay with some fine sand (CH)	50.00		0.02	12	227.75	
-23	Silty Clay with some fine sand (CH)	50.00		0.02	12	239.75	
-24	Silty Clay with some fine sand (CH)	50.00		0.02	12	251.75	
-25	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	263.75	
-26	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	275.75	
-27	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	287.75	
-28	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	299.75	
-29	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	311.75	
-30	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	323.75	
Jumlah				1.10		323.75	

Cat. :

- Secant pile berada pada kedalaman -4.5 m
- Bored pile abt berada pada kedalaman -14.5 m
- Bored pile pilar berada pada kedalaman -18.5 m

Tabel 5. 28 Nilai N-SPT Span Kanan

Depth (m)	Jenis Tanah	N rata2	Grafik SPT	T/N	f _i	Σ (f _i li)	C
				T/M2	t/m	kN/m2	
0	Silty CLAY (CH)	0.00		0.00	0	0	0
-1	Silty CLAY (CH)	5.60		0.18	2.8	2.8	4.21
-2	Fine SAND (SP)	7.00		0.14	3.5	6.3	
-3	Fine SAND (SP)	10.00		0.10	5	11.3	
-4	Fine SAND (SP)	21.30		0.05	10.65	21.95	
-5	Fine SAND (SP)	11.60		0.09	5.8	27.75	3.44
-6	Fine SAND (SP)	13.30		0.08	6.65	34.4	
-7	Fine SAND (SP)	14.00		0.07	7	41.4	
-8	Cemented SILT (ML)	24.00		0.04	12	53.4	
-9	Silty CLAY (CH)	47.00		0.02	12	65.4	2.32
-10	Silty CLAY (CH)	27.00		0.04	12	77.4	
-11	Silty CLAY (CH)	23.70		0.04	11.85	89.25	
-12	SILT with some fine clay (ML)	25.00		0.04	12	101.25	
-13	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	113.25	2.11
-14	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	125.25	
-15	Fine Sandy SILT (ML)	50.00		0.02	12	137.25	
-16	Silty CLAY (CH)	50.00		0.02	12	149.25	3.84
-17	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	161.25	
-18	SILT with some fine sand (ML)	50.00		0.02	12	173.25	
-19	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	185.25	
-20	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	197.25	
-21	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	209.25	
-22	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	221.25	
-23	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	233.25	
-24	SILT with some fine clay (ML)	50.00		0.02	12	245.25	1.54
-25	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	257.25	
-26	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	269.25	
-27	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	281.25	
-28	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	293.25	
-29	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	305.25	
-30	Fine SAND (SP)	50.00		0.02	12	317.25	
Jumlah				1.24		317.25	

Cat. :

- Secant pile berada pada kedalaman -4.5 m
- Bored pile abt berada pada kedalaman -14.5 m
- Bored pile pilar berada pada kedalaman -18.5 m

5.3.2 Bored Pile Pilar Ø 1 m

5.3.2.1 Analisa Gaya Dalam pada Bored Pile Pilar Ø 1 m

Didapatkan gaya dalam maksimal yang terjadi akibat kombinasi layan melalui program bantu SAP2000:

$P_{\max} = 2220.981 \text{ T Komb. 4}$

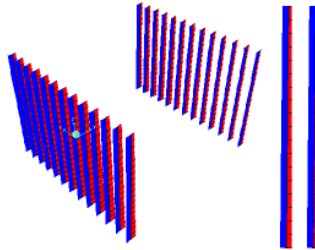
$V_x_{\max} = 1460.274 \text{ T Komb. 4}$

$V_y_{\max} = 1168.29 \text{ T Komb. 5}$

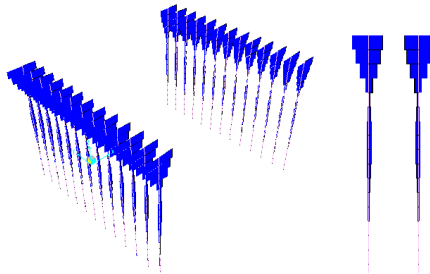
$M_x_{\max} = 2950.12 \text{ T Komb. 5}$

$M_y_{\max} = 3099.23 \text{ T Komb. 4}$

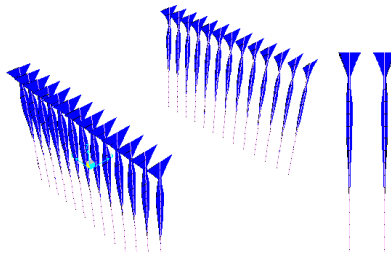
$A_{st \max} = 31248 \text{ mm}^2/\text{m (tul. utama)}, 3.654 \text{ mm}^2/\text{m (tul. geser) Komb. 4}$



Gambar 5. 17 Diagram gaya aksial pada bored pile pilar oleh kombinasi 4



Gambar 5. 18 Diagram gaya geser pada bored pile pilar oleh kombinasi 4



Gambar 5. 19 Diagram gaya momen pada bored pile pilar oleh kombinasi 5

5.3.2.2 Kebutuhan Tulangan pada Bored Pile Pilar Ø 1 m

Adapun kebutuhan tulangan pada bored pile pilar Ø 1 m berdasarkan kebutuhan a_{st} max yang telah diperoleh oleh program bantu SAP2000 dan penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

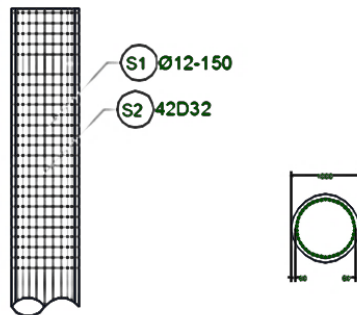
Tabel 5. 29 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile Pilar 1 m

Bored Pile Mid (1 m)			
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$ mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$ mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$ mPa	(Ulir)	
Diameter	$d = 1000$ mm		
Cover Beton	$= 60$ mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	31248
Penulangan		=	42 D32
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	33778.4042
As Terpasang > As Perlu		=	OK

Tabel 5. 30 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile
Pilar 1 m

Bored Pile Mid (1 m)			
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$ mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$ mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$ mPa	(Ulir)	
Tinggi	$t = 1000$ mm		
Cover Beton	$= 60$ mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	3.654
Penulangan		=	D14 -200
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	769.6902
As Terpasang > As Perlu		=	OK

Dari Analisa diatas maka digunakanlah tulangan utama 42D32 dengan as = 34398 mm² pada 4.38 %, tulangan geser praktis D14-150.



Gambar 5. 20 Tampak samping tulangan bored pile pilar (1 m)

5.3.2.3 Kontrol Tulangan pada Bored Pile Ø 1 m

Adapun dalam mengkontrol tulangan bored pile, kami menggunakan program bantu “pcaColumn”. Grafik sebagai berikut :

```

Material Properties:
=====
f'c = 24.9 MPa          fy = 410 MPa
Ec = 23453 MPa         Es = 200000 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

Section:
=====
Circular: Diameter = 1000 mm

Gross section area, Ag = 785398 mm^2
Ix = 4.90874e+010 mm^4          Iy = 4.90874e+010 mm^4
Xo = 0 mm                      Yo = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: ASTM A615M
Size Diam (mm) Area (mm^2)      Size Diam (mm) Area (mm^2)      Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 10      10       71      # 13      13      129      # 16      16      199
# 19      19      284      # 22      22      387      # 25      25      510
# 29      29      645      # 32      32      819      # 36      36      1006
# 43      43     1452      # 37      37      2965

Confinement: Tied: #10 ties with #32 bars, #10 with larger bars.
phi(s) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

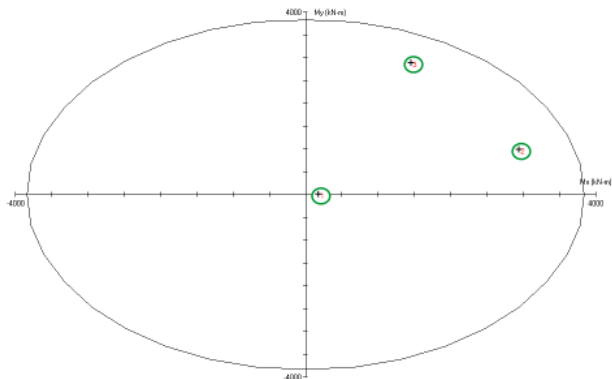
Layout: Circular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 34396 mm^2 at 4.38%
12 #32      Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
No.      Pu      MuX      MuY      fRnX      fRnY      fRnX/Mu
-----
1      2220.0      0.0      0.0      3706.6      0.0      999.999
2     1118.0     2850.0     973.0     3639.2     1250.3      1.234
3      623.0     882.0     3099.0     1060.9     3727.7      1.203

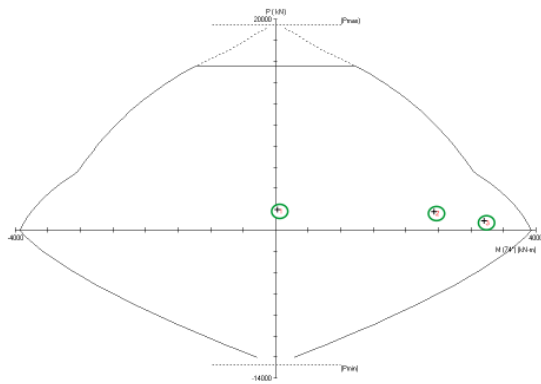
*** Program completed as requested! ***

```

Gambar 5. 21 Result show oleh pcaCol (Bored pile pilar Ø1 m)



Gambar 5. 22 Grafik kontur oleh pcaCol (Bored pile pilar Ø1 m)



Gambar 5. 23 Grafik interaksi oleh pcaCol (Bored pile pilar Ø1m)

5.3.3 Bored Pile Abutment Ø 1 m

5.3.3.1 Analisa Gaya Dalam pada Bored Pile Abt Ø 1 m

Didapatkan gaya dalam maksimal yang terjadi akibat kombinasi layan melalui program bantu SAP2000:

$P_{\max} = 2576.62 \text{ T Komb. 4}$

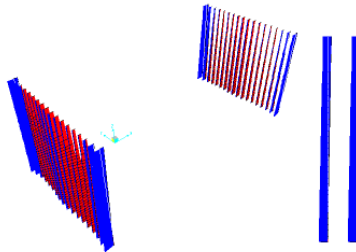
$V_x_{\max} = 1461.84 \text{ T Komb. 4}$

$V_y_{\max} = 1168.57 \text{ T Komb. 5}$

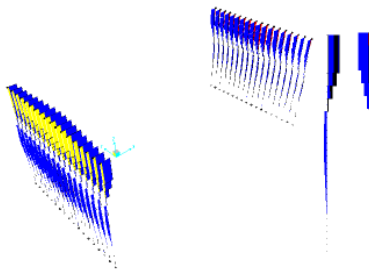
$M_x_{\max} = 2951.23 \text{ T Komb. 5}$

$M_y_{\max} = 3122 \text{ T Komb. 4}$

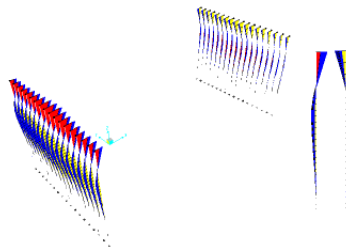
$A_{st \max} = 28601 \text{ mm}^2/\text{m (tul. utama), } 1.915 \text{ mm}^2/\text{m (tul. geser) Komb. 4}$



Gambar 5. 24 Diagram gaya aksial pada bored pile abutment oleh kombinasi 4



Gambar 5. 25 Diagram gaya geser pada bored pile abutment oleh kombinasi 4



Gambar 5. 26 Diagram gaya momen pada bored pile abutment oleh kombinasi 5

5.3.3.2 Kebutuhan Tulangan pada Bored Pile Abt Ø 1 m

Adapun kebutuhan tulangan pada bored pile abt Ø1 m berdasarkan kebutuhan $a_{st\ max}$ yang telah diperoleh oleh program bantu SAP2000 dan penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

Tabel 5. 31 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile abutment 1 m

Bored Pile Edg (1 m)			
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$ mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$ mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$ mPa	(Ulir)	
Diameter	$d = 1000$ mm		
Cover Beton	$= 60$ mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	28601
Penulangan		=	36 D32
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	28952.9179
As Terpasang > As Perlu		=	OK

Tabel 5. 32 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile
abutment 1 m

Bored Pile Edg (1 m)			
Mutu Beton =	fc' = 24.9 mPa		
Mutu Tulangan =	fy = 230 mPa (Polos)		
	fy = 410 mPa (Ulir)		
Tinggi	t = 1000 mm		
Cover Beton	= 60 mm		
Ast Output SAP2000	(mm2/m)	=	1.915
Penulangan		=	D14 -200
Ast Terpasang	(mm2/m)	=	769.6902
As Terpasang > As Perlu		=	OK

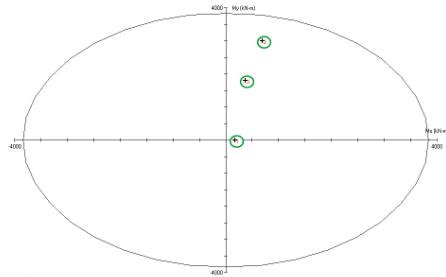
Dari Analisa diatas maka digunakanlah tulangan utama 36D32 dengan as = 29484 mm² pada 3.75 %, tulangan geser praktis D14-150.

5.3.3.3 Kontrol Tulangan pada Bored Pile Abt Ø 1 m

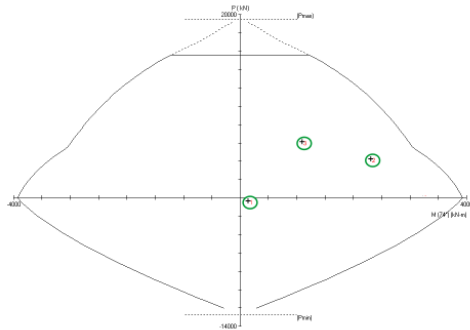
Adapun dalam mengkontrol tulangan bored pile, kami menggunakan program bantu “pcaColumn”. Grafik sebagai berikut :

Material Properties:									
f'c = 24.9 MPa					Zy = 410 MPa				
Ec = 23453 MPa					Es = 200000 MPa				
Ultimate strain = 0.003 mm/mm									
Beta1 = 0.85									
Section:									
Circular: Diameter = 1000 mm									
Gross section area, Ag = 785399 mm ²					Iy = 4.9027e+010 mm ⁴				
Ia = 4.9027e+010 mm ⁴					To = 0 mm				
Ro = 0 mm									
Reinforcement:									
Rebar Database: ASTM A615M									
Size	Diam (mm)	Area (mm ²)	Size	Diam (mm)	Area (mm ²)	Size	Diam (mm)	Area (mm ²)	
# 10	10	71	# 13	13	129	# 14	14	159	
# 16	16	201	# 18	18	254	# 20	20	314	
# 20	20	314	# 22	22	380	# 24	24	551	
# 28	28	616	# 32	32	804	# 28	28	774	
# 36	36	1017	# 36	36	1017	# 30	30	706	
Confinement: Tied #10 ties with #32 bars, #10 with larger bars.									
phi(s) = 0.75, phi(s) = 0.75, phi(s) = 0.45									
Layout: Circular									
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)									
Total steel area, As = 29484 mm ² at 3.75%									
36 #32 Cover = 60 mm									
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)									
Id.	Pu	Mux	Muy	Pmax	PhiP	PhiMx	PhiMy	PhiV	
	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	
1	3553.0	0.0	0.0	3553.0	0.0	999.999			
2	419.0	90.0	3191.0	99.0	3539.4	1.109			
3	362.0	314.0	1704.0	641.0	3478.4	2.041			
*** Program completed as requested: ***									

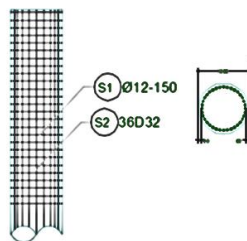
Gambar 5. 27 Result show oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)



Gambar 5. 28 Grafik kontur oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)



Gambar 5. 29 Grafik interaksi oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)



Gambar 5. 30 Tampak samping tulangan bored pile abutment (1 m)

5.3.4 Bored Pile Abutment Ø 1.5 m

5.3.4.1 Analisa Gaya Dalam pada Bored Pile Abt Ø 1.5 m

Didapatkan gaya dalam maksimal yang terjadi akibat kombinasi layan melalui program bantu SAP2000:

$P_{max} = 3736.12 \text{ T Komb. 4}$

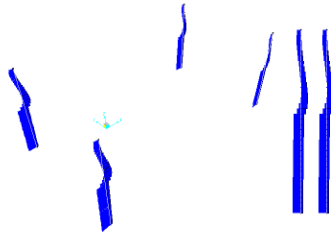
$V_{x \max} = 2922.23 \text{ T Komb. 4}$

$V_{y \max} = 656.42 \text{ T Komb. 5}$

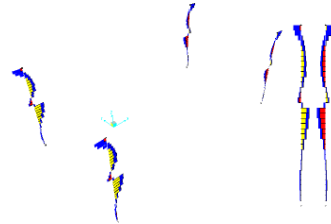
$M_{x \max} = 1212.69 \text{ T Komb. 5}$

$M_{y \max} = 8566.03 \text{ T Komb. 4}$

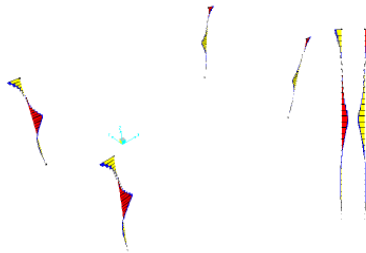
$A_{st \max} = 44511 \text{ mm}^2/\text{m (tul. utama)}, 4.56 \text{ mm}^2/\text{m (tul. geser) Komb. 4}$



Gambar 5. 31 Diagram gaya aksial pada bored pile abt (Ø1.5 m) oleh kombinasi 4



Gambar 5. 32 Diagram gaya geser pada bored pile abt (Ø1.5 m) oleh kombinasi 4



Gambar 5. 33 Diagram gaya momen pada bored pile abt (Ø1.5 m) oleh kombinasi 4

5.3.2.2 Kebutuhan Tulangan pada Bored Pile Abt Ø 1.5 m

Adapun kebutuhan tulangan pada bored pile abt Ø1.5 m berdasarkan kebutuhan ast max yang telah diperoleh oleh program bantu SAP2000 dan penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

Tabel 5. 33 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile abutment 1.5 m

Bored Pile Edg (1.5 m)			
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$ mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$ mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$ mPa	(Ulir)	
Diameter	$d = 1500$ mm		
Cover Beton	$= 60$ mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	44511
Penulangan		=	56 D32
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	45037.8723
As Terpasang > As Perlu		=	OK

Tabel 5. 34 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile abutment 1.5 m

Bored Pile Edg (1.5 m)			
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$ mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$ mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$ mPa	(Ulir)	
Tinggi	$t = 1000$ mm		
Cover Beton	= 60 mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	4.56
Penulangan		=	D14 -200
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	769.6902
As Terpasang > As Perlu		=	OK

Dari Analisa diatas maka digunakanlah tulangan utama 56D32 dengan as = 45037.87 mm² pada 2.60 %, tulangan geser praktis D14-150.

5.3.4.3 Kontrol Tulangan pada Bored Pile Abt Ø 1.5 m

Adapun dalam mengkontrol tulangan bored pile, kami menggunakan program bantu “*pcaColumn*”. Grafik sebagai berikut :

```

Material Properties:
=====
E'c = 24.9 MPa                      E'y = 410 MPa
G'c = 23853 MPa                    G'y = 200000 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.85

Section:
=====
Circular: Diameter = 1500 mm

Gross section area, Ag = 1.76718e+006 mm^2
Ia = 2.48508e+11 mm^4              Iy = 2.48508e+11 mm^4
Sx = 0 mm                          Sy = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: ASTM A615
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 10 -----
# 12 -----
# 16 -----
# 19 -----
# 25 -----
# 28 -----
# 32 -----
# 36 -----
# 40 -----
# 43 -----

Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 10 -----
# 12 -----
# 16 -----
# 19 -----
# 25 -----
# 28 -----
# 32 -----
# 36 -----
# 40 -----
# 43 -----

Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 10 -----
# 12 -----
# 16 -----
# 19 -----
# 25 -----
# 28 -----
# 32 -----
# 36 -----
# 40 -----
# 43 -----

Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 10 -----
# 12 -----
# 16 -----
# 19 -----
# 25 -----
# 28 -----
# 32 -----
# 36 -----
# 40 -----
# 43 -----

Conf: Tied: #10 ties with #32 bars, #10 with larger bars.
G'101 = 0.8, G'10101 = 0.8, G'10101 = 0.8

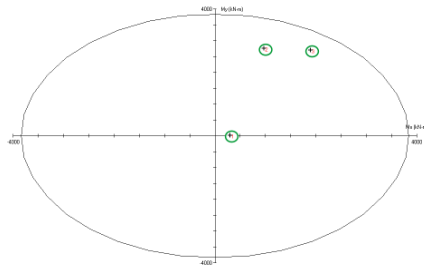
Layout: Circular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 45037.87 mm^2 at 2.60%
16 #32 Cover = 60 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
No.      Pk      Mu      Mx      My      Pn      Mu      Mx      My      Pn      Mu      Mx      My      Pn
-----
1      3726.0      0.0      0.0      0.0      10109.8      0.0      999.999
2      882.0      1312.0      5774.0      1825.4      3052.4      1.261
3      1426.0      791.0      8366.0      866.0      3357.4      1.094

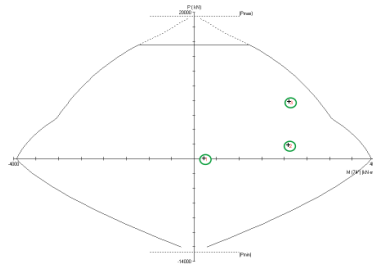
*** Program completed as requested! ***

```

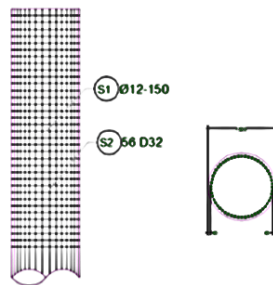
Gambar 5. 34 Result show oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1 m)



Gambar 5. 35 Grafik kontur oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1.5 m)



Gambar 5. 36 Grafik interaksi oleh pcaCol (Bored pile abt Ø1.5m)



Gambar 5. 37 Tampak samping tulangan bored pile abutment (1.5 m)

5.3.5 Bored Pile Secant Pile Ø 0.6 m dan Ø 1 m

5.3.5.1 Analisa Gaya Dalam pada Bored Pile

Didapatkan gaya dalam maksimal yang terjadi akibat kombinasi ultimit melalui program bantu SAP2000:

Bored pile secant pile Ø 0.6 m

P max = 530.609 T Komb. 4

V_x max = 237.779 T Komb. 4

V_y max = 108.249 T Komb. 4

M_x max = 250.418 T Komb. 4

M_y max = 635.44 T Komb. 4

Ast max = 12460 mm²/m (tul. utama), 0.5 mm²/m (tul. geser) Komb. 4

Bored pile secant pile Ø 1 m

P max = 3003.38 T Komb. 4

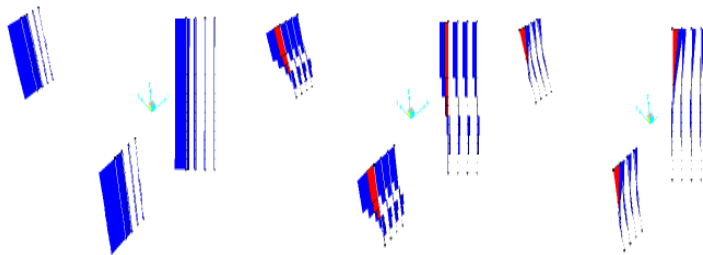
V_x max = 398.929 T Komb. 4

V_y max = 301.159 T Komb. 4

M_x max = 1026.84 T Komb. 4

M_y max = 1449.96 T Komb. 4

Ast max = 18045 mm²/m (tul. utama), 0.841 mm²/m (tul. geser) Komb. 4



Gambar 5. 38 Diagram gaya aksial-geser-momen (dari kiri) pada bored pile secant pile (Ø0.6 m dan Ø1 m) oleh kombinasi 4

5.3.5.2 Kebutuhan Tulangan pada Bored Pile

Adapun kebutuhan tulangan pada bored pile secant pile berdasarkan kebutuhan $a_{st\ max}$ yang telah diperoleh oleh program bantu SAP2000 dan penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

Tabel 5. 35 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile secant pile 0.6 m

Bored Pile Wingwall (0.6 m)				
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$	mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$	mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$	mPa	(Ulir)	
Diameter	$d = 600$	mm		
Cover Beton	$= 60$	mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	12460	
Penulangan		=	26 D25	
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	12762.7202	
As Terpasang > As Perlu		=	OK	

Tabel 5. 36 Perhitungan Penulangan Utama Bored Pile secant pile 1 m

Bored Pile Wingwall (1 m)				
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$	mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$	mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$	mPa	(Ulir)	
Diameter	$d = 1000$	mm		
Cover Beton	$= 60$	mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	18045	
Penulangan		=	24 D32	
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	19301.9453	
As Terpasang > As Perlu		=	OK	

Tabel 5. 37 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile
secant pile 0.6 m

Bored Pile Wingwall (0.6 m)			
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$ mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$ mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$ mPa	(Ulir)	
Tinggi	$t = 1000$ mm		
Cover Beton	$= 60$ mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	0.5
Penulangan		=	D14 -200
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	769.6902
As Terpasang > As Perlu		=	OK

Tabel 5. 38 Perhitungan Penulangan Geser Bored Pile
secant pile 1 m

Bored Pile Wingwall (1 m)			
Mutu Beton =	$f_c' = 24.9$ mPa		
Mutu Tulangan =	$f_y = 230$ mPa	(Polos)	
	$f_y = 410$ mPa	(Ulir)	
Tinggi	$t = 1000$ mm		
Cover Beton	$= 60$ mm		
Ast Output SAP2000	(mm ² /m)	=	0.841
Penulangan		=	D14 -200
Ast Terpasang	(mm ² /m)	=	769.6902
As Terpasang > As Perlu		=	OK

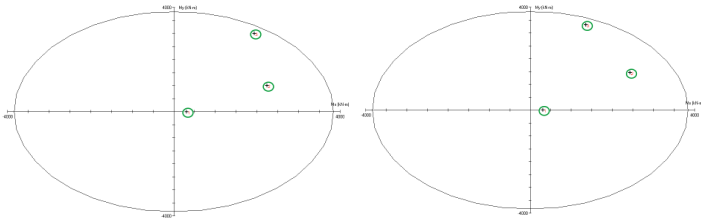
Dari Analisa diatas maka untuk bored pile secant pile Ø 0.6 m digunakanlah tulangan utama 26D25 dengan $a_s = 12762 \text{ mm}^2$ pada 4.69 %, tulangan geser praktis D14-150. Dan bored pile secant pile Ø 1 m digunakanlah tulangan utama 24D32 dengan $a_s = 19301 \text{ mm}^2$ pada 2.5 %, tulangan geser praktis D14-150.

5.3.5.3 Kontrol Tulangan pada Bored Pile

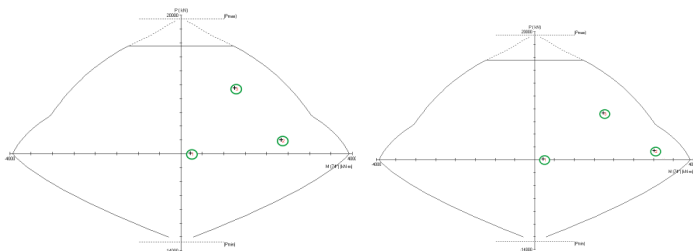
Adapun dalam mengkontrol tulangan bored pile, kami menggunakan program bantu “*pcaColumn*”. Grafik sebagai berikut :

Material Properties:										Material Properties:																													
$f'_c = 24.9 \text{ MPa}$										$f'_c = 24.9 \text{ MPa}$																													
$E_c = 21453 \text{ MPa}$										$E_c = 21453 \text{ MPa}$																													
Ultimate strain = 0.003 mm/mm										Ultimate strain = 0.003 mm/mm																													
Detail = 0.01										Detail = 0.01																													
Section:										Section:																													
Circular Diameter = 600 mm										Circular Diameter = 1000 mm																													
Gross section area, $A_g = 282743 \text{ mm}^2$										Gross section area, $A_g = 785398 \text{ mm}^2$																													
$I_x = 6.36173e+09 \text{ mm}^4$										$I_x = 4.90879e+10 \text{ mm}^4$																													
$I_y = 6.36173e+09 \text{ mm}^4$										$I_y = 4.90879e+10 \text{ mm}^4$																													
$S_x = 0 \text{ mm}$										$S_x = 0 \text{ mm}$																													
$S_y = 0 \text{ mm}$										$S_y = 0 \text{ mm}$																													
Reinforcement:										Reinforcement:																													
Rebar Database: ASTM A631M										Rebar Database: ASTM A631M																													
Size		Diam (mm)		Area (mm ²)		Size		Diam (mm)		Area (mm ²)		Size		Diam (mm)		Area (mm ²)																							
# 10		10		71		# 13		13		129		# 14		14		159																							
# 16		16		201		# 18		18		254		# 20		20		314																							
# 22		22		380		# 25		25		491		# 28		28		616																							
# 30		30		706		# 32		32		804		# 36		36		1013																							
# 40		40		1256		# 43		43		1471		# 47		47		1734																							
Confinement: Ties #10 ties with #12 bars, #10 with larger bars. $\rho_{s(x)} = 0.5$, $\rho_{s(y)} = 0.5$, $\rho_{s(z)} = 0.5$										Confinement: Ties #10 ties with #12 bars, #10 with larger bars. $\rho_{s(x)} = 0.5$, $\rho_{s(y)} = 0.5$, $\rho_{s(z)} = 0.5$																													
Layout: Circular										Layout: Circular																													
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)										Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)																													
Total steel area, $A_s = 13240 \text{ mm}^2$ at 4.69%										Total steel area, $A_s = 19400 \text{ mm}^2$ at 2.50%																													
26 #10 Cover = 40 mm										24 #32 Cover = 40 mm																													
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)																				Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)																			
My		Pu		Mux		Muy		Omux		Omuy		PhiPu		My		Pu		Mux		Muy		Omux		Omuy		PhiPu													
1		581.0		0.0		0.0		703.3		0.0		999.999		1		2000.0		0.0		0.0		2487.0		0.0		999.999													
2		440.0		231.0		979.0		232.3		431.4		1.103		2		2790.0		1027.0		1463.0		1035.8		2196.0		1.090													
3		110.0		135.0		635.0		171.0		700.4		1.103		3		1042.0		984.0		1403.0		1322.1		2297.0		1.047													
*** Program completed as requested ***																				*** Program completed as requested ***																			

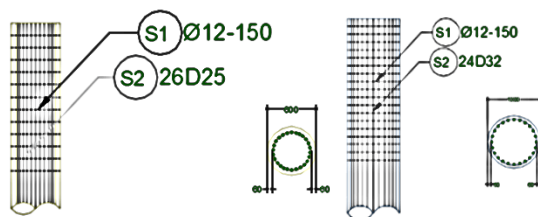
Gambar 5. 39 Result show oleh pcaCol Bored pile secant pile Ø0.6 m (kiri) dan Ø1 m (kanan)



Gambar 5. 41 Grafik kontur oleh pcaCol Bored pile secant pile Ø0.6 m (kiri) dan Ø1 m (kanan)

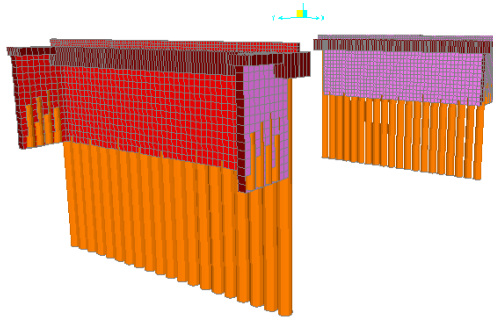


Gambar 5. 40 Grafik interaksi oleh pcaCol Bored pile secant pile Ø0.6 m (kiri) dan Ø1 m (kanan)

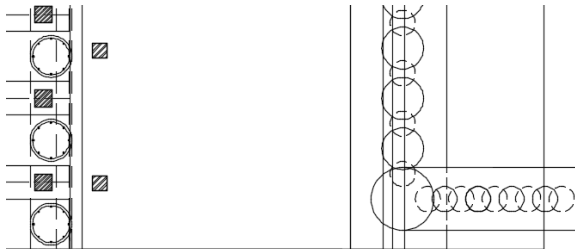


Gambar 5. 42 Tampak samping tulangan bored pile abutment 0.6 m (kiri) dan 1 m (kanan)

5.4 Perencanaan Secant Pile

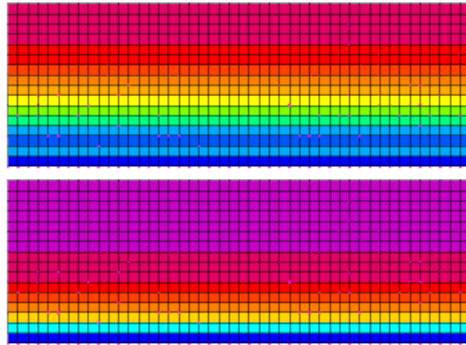


Gambar 5. 43 Tampak perspektif Secant Pile pada abutment

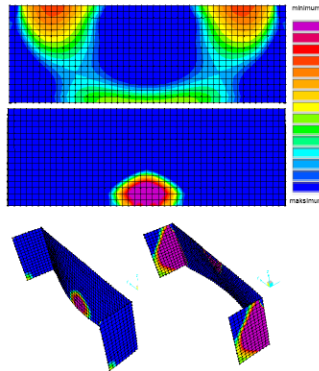


Gambar 5. 44 Denah Secant Pile

Melalui perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif sesuai dengan bab 3.5.6 *Tekanan Tanah*, maka didapatkan bahwa semakin dalam secant pile, maka akan menerima gaya yang semakin besar pula, adapun diagram tekanan tanah melalui SAP2000 sebagai berikut :



Gambar 5. 45 Tekanan tanah aktif (atas) dan pasif (bawah)



Gambar 5. 46 Diagram momen pada tekanan tanah aktif (atas) dan pasif (bawah)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Sesuai dengan analisa data dan kondisi eksisting Jembatan Kartoharjo, maka dari hasil analisa Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kartoharjo STA 102 + 678 Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Paket NK1 didapat beberapa poin kesimpulan, meliputi:

- a. Struktur Jembatan ini tidak menggunakan Pile Cap sebagai pengikat pondasi. Maka dari itu pondasi Bored Pile ini dirancang sekaligus akan menjadi kolom struktur bagi jembatan untuk meneruskan beban – bebannya ke bawah.
- b. Struktur Jembatan ini menggunakan Dinding Bored Pile (Secant Pile) sebagai Dinding Penahan Tanah (DPT) yang telah direncanakan menggunakan dia. 0.6 m sepanjang 8 meter kedalam tanah dengan menggunakan material K175.
- c. Jembatan memiliki lendutan sebesar 23.366 mm pada tengah bentang dan 6.086 mm pada bentang tepi, hal ini berada dibawah lendutan ijin yaitu sebesar 32.875 mm pada tengah bentang dan 9 mm pada bentang tepi.
- d. Untuk mutu beton yang digunakan dalam perancangan Jembatan Kartoharjo ini menggunakan :
 - K175 (f_c' 14.5 Mpa) : *Secant Pile*
 - K250 (f_c' 20.75 Mpa) : Parapet, Diafragma, Caping Secant Pile, dan Plat Lantai
 - K300 (f_c' 24.9 Mpa) : Girder, *Pier Head*
 - K350 (f_c' 29.05 Mpa) : *Bored Pile*

- e. Perletakan jembatan menggunakan bearing pad dengan tinggi 101 mm, panjang 480 mm dan lebar 380 mm. dengan tebal lapisan plat baja 5 mm berjumlah 4 lapis. Tebal lapisan selimut sisi 10 mm, tebal lapisan karet dalam 12 mm sebanyak 5 buah.
- f. Adapun resume kebutuhan tulangan sebagai berikut :

Tabel 6. 1 Resume kebutuhan tulangan bangunan atas

Bangunan Atas	Kebutuhan Tulangan							
	Tul. Atas		Tul. Bawah		Tul Torsi		Sengkang (D16)	
	Tum	Lap	Tum	Lap	Tum	Lap	Tum	Lap
Balok Girder 1 (D25)	7	4	24	21	6	6	200	300
Balok Girder 2 (D25)	6	4	24	21	6	6	300	300
Balok Girder 3 (D25)	6	4	24	21	6	6	300	300
Balok Girder 4 (D25)	6	4	24	21	6	6	300	300
Balok Girder 5 (D25)	5	4	24	18	6	6	300	300
Balok Girder 6 (D25)	6	4	24	18	6	6	300	300
Balok Girder 7 (D25)	6	4	24	18	6	6	300	300
Balok Girder 8 (D25)	5	4	24	18	6	6	300	300
Balok Girder 9 (D25)	6	4	24	21	6	6	300	300
Balok Girder 10 (D25)	6	4	24	21	6	6	300	300
Balok Girder 11 (D25)	6	6	24	21	6	6	300	300
Balok Girder 12 (D25)	7	4	24	21	6	6	300	300
Diafragma 1	2D16		2D16		4D16		2D16	300
Diafragma 2	4D16		3D16		2D16		2D16	200
Diafragma 3	4D16		4D16		2D16		2D16	300
Diafragma 4	4D16		4D16		2D16		2D16	200
Diafragma 5	2D16		2D16		3D16		2D16	200

Bangunan Atas	Kebutuhan Tulangan		
	Tul. Utama	Tul. Bagi	Sengkang
Parapet	D13-150	16D12	-
Plat 24 cm	D13-150	D16-200	-
Plat 40 cm	D25-150	D25-140	-

Tabel 6. 2 Resume kebutuhan tulangan bangunan atas

Bangunan Bawah	Kebutuhan Tulangan		
	Tul. Utama	Tul. Bagi	Sengkang
(Pilar) Pier Head	D22-100	D22-100	-
(Pilar) Korbel	D22-100	D16-500	-
(Pilar) Stopper	D16-500	D16-200	-
(Abt) Pier Head	D25-140	D25-100	-
(Abt) Stopper	D16-500	D16-200	-
(Abt) Cappingan Wingwall Secant Pile	D22-150	D22-100	-
(Bored Pile) Pilar Ø 1 m	42D32	-	D12-150
(Bored Pile) Abt Ø 1 m	36D32	-	D12-150
(Bored Pile) Abt Ø 1.5 m	56D32	-	D12-150
(Bored Pile) Secant Pile Ø 1 m	24D32	-	D12-150
(Bored Pile) Secant Pile Ø 0.6 m	26D25	-	D12-150

6.2 Saran

Pada modifikasi Desain Jembatan Jembatan Kartoharjo STA 102 + 678 Pada Ruas Jalan Tol Solo - Kertosono Paket NK1 Kabupaten Magetan terdapat beberapa saran dari penulis, meliputi:

- Dengan menghilangkan fungsi pile cap yaitu pembagi beban dari atas, maka pier head sebagai pengganti posisi pile cap diharuskan mampu menggantikan fungsi pile cap dan mampu menyalurkan beban dari atas dengan baik.
- Jembatan ini menggunakan Secant Pile sebagai struktur dinding penahan tanah, oleh karena itu ada dalam merencanakan struktur tersebut diharap diperhatikan baik baik mengenai daya dukung tanah eksisting

BAB VII

REVISI

7.1 Perhitungan Manual Balok Girder

7.1.1 Preliminary Design Girder Tengah

Perencanaan dimensi awal untuk girder tengah disesuaikan berdasarkan *RSNI T-12-2004 Pasal 9.2.1* adalah sebagai berikut.

Perencanaan tinggi girder tengah

$$= 1/12 L \geq h \geq 1/15 L$$

$$= 1/12 \cdot 25000 \geq h \geq 1/15 \cdot 25000$$

$$= 2083.33 \geq h \geq 1/15 \cdot 1666.67$$

Maka untuk tinggi girder direncanakan 1800 mm = 1,8 m

Kontrol

$$h \geq 165 + 0,06 \times L \text{ mm}$$

$$1800 \text{ mm} \geq 165 + 0,06 \times 2500 \text{ mm}$$

$$1800 \text{ mm} \geq 1665 \text{ mm (OK)}$$

Perencanaan lebar girder tengah

$$1/3 h \geq bw \geq 2/3 h$$

$$1/3 \cdot 1800 \text{ mm} \geq bw \geq 2/3 \cdot 1800 \text{ mm}$$

$$600 \text{ mm} \geq bw \geq 1200 \text{ mm}$$

Maka untuk lebar girder direncanakan 800 mm = 0,8 m

7.1.2 Analisa Pembebanan Girder Tengah

BEBAN MATI

- Beban Mati Merata (qDL)

a. Beban Sendiri Girder

$$\begin{aligned} q \text{ girder} &= t \times b \times Wc \\ &= 1,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 25 \text{ kN/ m}^3 \\ &= 36 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned} q \text{ plat} &= ts \times b \times Wc \\ &= 0,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/ m}^3 \\ &= 9,375 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned} q \text{ asp} &= t \times b \times Wc \\ &= 0,07 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 22 \text{ kN/ m}^3 \\ &= 3,542 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d. \text{ qDL} &= 36 \text{ kN/m} + 9,375 \text{ kN/m} + 3,542 \text{ kN/m} \\ &= 48,917 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} quDL &= 48,917 \text{ kN/m} \times 1,3 \\ &= 63,59 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Mati Terpusat

a. Beban Diafragma

$$\begin{aligned} P \text{ diafragma} &= h \times b \times l \times Wc \\ &= 0,8 \text{ m} \times 0,3 \times 1,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/ m}^3 \\ &= 9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pu \text{ diafragma} &= 9 \text{ kN} \times 1,3 \\ &= 11,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

BEBAN HIDUP

Beban Hidup pada girder terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) seperti pada gambar 4.11. Dan sesuai dengan **RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1**, BTR tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$q = 9 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 9 \times (1 \times 15/L) \quad \text{untuk } L \geq 30 \text{ m}$$

Sedangkan untuk BGT mempunyai intensitas :

$$P = 49 \text{ kN/m}$$

Faktor beban dinamis (DLA) untuk BGT diambil sebagai berikut :

- Beban Mati Merata (qLL)

a. Beban terbagi rata , $q = 9 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned} q \text{ BTR} &= q \times S \\ &= 9 \text{ kN/m}^2 \times 2,3 \text{ m} \\ &= 20,7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban terbagi rata , beban genangan air

$$\begin{aligned} q \text{ air} &= t \times l \times Wc \\ &= 0,05 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 9,8 \text{ kN/ m}^3 \\ &= 0,735 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } q_{LL} &= 20,7 \text{ kN/m} + 0,735 \text{ kN/m} \\ &= 21,435 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{uLL} &= 21,435 \text{ kN/m} \times 1.8 \\ &= 38.58 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban garis terpusat , } P = 49 \text{ kN/m}$$

$$\text{Faktor beban dinamis , } DLA = 0,4$$

$$P \text{ BGT} = (1 + DLA) \times P \times S$$

$$= (1 + 0,4) \times 49 \text{ kN/m} \times 2,3 \text{ m}$$

$$= 157,78 \text{ kN}$$

$$P_u \text{ BGT} = 157,78 \text{ kN} \times 1.8$$

$$= 284.004 \text{ kN}$$

BEBAN TRUCK

$$\text{DLA} = 0,3 \quad (\text{RSNI } T-02-2005 \text{ Pasal } 6.6)$$

$$\text{KuTT} = 1,8 \quad (\text{RSNI } T-02-2005 \text{ Tabel } 12)$$

$$\text{Tu} = 112,5 \text{ kN} \quad (\text{RSNI } T-02-2005 \text{ Pasal } 6.4.1)$$

$$P \text{ truck} = (1 + \text{DLA}) \times \text{Tu} \times \text{KuTT}$$

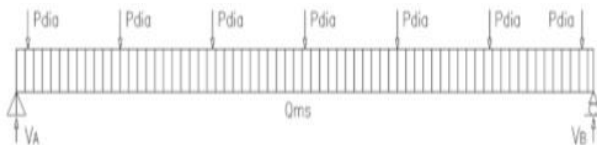
$$= (1 + 0,4) \times 112,5 \times 1,8$$

$$= 283,5 \text{ kN}$$

7.1.3 Perhitungan Gaya Dalam

- Reaksi perletakan pada girder

Akibat beban mati (DL q) :



Gambar 7. 1 Permodelan beban mati girder tengah 26.3 m

Menghitung Rva dan Rvb akibat beban merata dan terpusat.

$$\text{Beban mati merata, } R_{va} = 0,5 \times q_{DL} \times L$$

$$= 0,5 \times 48,917 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}$$

$$= 611,46 \text{ kN}$$

$$\text{Beban mati Terpusat, } R_{va} = 0,5 \times n \text{ diafragma} \times P_{dl}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,5 \times 7 \times 9 \text{ kN} \\
 &= 31,5 \text{ kN} \\
 \text{Total beban mati, } R_{va} &= 611,46 \text{ kN} + 31,5 \text{ kN} \\
 &= 642,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{va} &= R_{vb} = 642,96 \text{ kN} \\
 R_{uva} &= R_{uvb} = 1,3 \times 642,96 \text{ kN} \\
 &= 835,85 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan girder dibagi menjadi beberapa segmen setiap 2,5 meter hingga setengah panjang girder jembatan karena dianggap simetris.

- **Segmen 1 (Jarak , $L_x = 2,5 \text{ m}$)**

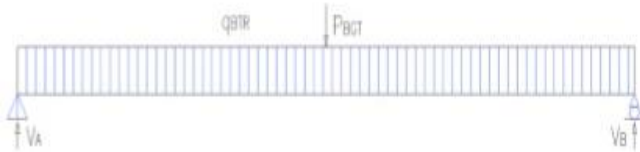
Jumlah diafragma (n) = 1

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned}
 V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times \\
 &\quad P \text{ diafragma}) \\
 &= 642,96 \text{ kN} - 48,917 \text{ kN/m} \times 2,5 \text{ m} - (1 \times \\
 &\quad 9 \text{ kN}) \\
 &= 511,67 \text{ kN} \\
 V_{uDL} &= 511,67 \text{ kN} \times 1,3 \\
 &= 665,17 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Akibat beban hidup (LL) :

Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})



Gambar 7. 2 Permodelan beban hidup girder tengah 26.3 m

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L - L_s)}{L} \\
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25\text{m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (25 - 2,5)\text{m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 141,97 \text{ kN} \\
 &= 409,93 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L_s)}{L} \\
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (2,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 157,78 \text{ kN} \\
 &= 283,72 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .

$$= 409,93 \text{ kN}$$

$$V_{uLL} = 409,93 \text{ kN} \times 1,8$$

$$= 737,89 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\
 &= 665,17 \text{ kN} + 737,89 \text{ kN} \\
 &= 1403,06 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M qDL)

$$\begin{aligned}
 M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\
 &= 611,46 \text{ kN} \times (2,5 \text{ m}) - (0,5 \times 48,917 \text{ kN/m} \times \\
 &\quad (2,5 \text{ m})^2) \\
 &= 1375,79 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M pDL)

$$\begin{aligned}
 M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - \\
 &\quad (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 9 \text{ kN}) \times 2,5 \text{ m} - (9 \text{ kN} \times \\
 &\quad (2,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) \\
 &= 60,75 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned}
 M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\
 &= (0,5 \times 21,435 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (2,5 \text{ m}) - (0,5 \times \\
 &\quad 21,435 \text{ kN/m} \times (2,5 \text{ m})^2) \\
 &= 602,86 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned}
 M_{pLL} &= P_{BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\
 &= 157,78 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 2,5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (2,5 \text{ m}) \\
 &= 355,01 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (L_s) = 2,5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	1375,79	1	1,3	1375,79	1788,53
2.	M p DL	78,97	1	1,3	78,97	78,975
3.	M q LL	1085,15	1	1,8	1085,15	1085,15
4.	M p LL	639,01	1	1,8	639,01	639,01
TOTAL					3178,92	3591,66

Maka Mu total = 3591,66 kN.m

• **Segmen 2 (Jarak , $L_x = 5$ m)**

Jumlah diafragma (n) = 2

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned}
 V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \\
 &= 642,96 \text{ kN} - 48,917 \text{ kN/m} \times 5 \text{ m} - (2 \times 9 \text{ kN}) \\
 &= 380,38 \text{ kN} \\
 V_{uDL} &= 380,38 \text{ kN} \times 1,3 \\
 &= 494,49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P \text{ BGT} \times (L - L_s)}{L} \\
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (25 - 5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 126,22 \text{ kN} = 394,16 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L_s)}{L} \\
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 31,56 \text{ kN} \\
 &= 299,49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup Ra dan Rb.

$$\begin{aligned}
 &= 394,16 \text{ kN} \\
 V_{uLL} &= 394,16 \text{ kN} \times 1,8 \\
 &= 709,49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\
 &= 494,49 \text{ kN} + 709,49 \text{ kN} \\
 &= 1203,98 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M_{qDL})

$$\begin{aligned}
 M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\
 &= 611,46 \text{ kN} \times (5 \text{ m}) - (0,5 \times 48,917 \text{ kN/m} \times \\
 &\quad (5 \text{ m})^2) \\
 &= 2445,85 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M_{pDL})

$$\begin{aligned}
 M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - \\
 &\quad (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times \\
 &\quad (L_s - 4,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 9 \text{ kN}) \times 5 \text{ m} - (9 \text{ kN} \times
 \end{aligned}$$

$$(5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) \times (9 \text{ kN} \times (5 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) \\ = 112,5 \text{ kN.m}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned} M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\ &= (0,5 \times 21,435 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (5 \text{ m}) - (0,5 \times \\ &\quad 21,435 \text{ kN/m} \times (5 \text{ m})^2) \\ &= 1071,75 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned} M_{pLL} &= P_{BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\ &= 157,78 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (5 \text{ m}) \\ &= 631,12 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (Ls) = 5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	2445,85	1	1,3	2445,85	3179,61
2.	M p DL	112,5	1	1,3	112,5	146,25
3.	M q LL	1071,75	1	1,8	1071,75	1929,15
4.	M p LL	631,12	1	1,8	631,12	1136,02
TOTAL					4261,22	6391,02

Maka Mu total = 6391,02 kN.m

• **Segmen 3 (Jarak , Lx = 7,5 m)**

Jumlah diafragma (n) = 2

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned}
 V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \\
 &= 642,96 \text{ kN} - 48,917 \text{ kN/m} \times 7,5 \text{ m} - (2 \times 9 \text{ kN}) \\
 &= 258,085 \text{ kN} \\
 V_{uDL} &= 258,085 \text{ kN} \times 1,3 \\
 &= 335,51 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P \text{ BGT} \times (L - L_s)}{L} \\
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (25 - 7,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 110,45 \text{ kN} \\
 &= 378,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P \text{ BGT} \times (L_s)}{L} \\
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (7,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 47,33 \text{ kN} \\
 &= 315,27 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{LL} &= \text{Merupakan nilai terbesar dari perhitungan} \\
 &\quad \text{reaksi perletakan akibat beban hidup } R_a \text{ dan } R_b. \\
 &= 378,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{uLL} &= 378,38 \text{ kN} \times 1,8 \\
 &= 681,09 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{u \text{ total}} = V_{uDL} + V_{uLL}$$

$$\begin{aligned}
 &= 335,51 \text{ kN} + 681,09 \text{ kN} \\
 &= 1016,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M qDL)

$$\begin{aligned}
 M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\
 &= 611,46 \text{ kN} \times (7,5 \text{ m}) - (0,5 \times 48,917 \text{ kN/m} \times \\
 &\quad (7,5 \text{ m})^2) \\
 &= 3210,18 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M pDL)

$$\begin{aligned}
 M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - \\
 &\quad (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times \\
 &\quad (L_s - 4,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 9 \text{ kN}) \times 7,5 \text{ m} - (9 \text{ kN} \times \\
 &\quad (7,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) - (9 \text{ kN} \times (7,5 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) \\
 &= 146,25 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned}
 M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\
 &= (0,5 \times 21,435 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (7,5 \text{ m}) - (0,5 \times 21,435 \\
 &\quad \text{kN/m} \times (7,5 \text{ m})^2) \\
 &= 1406,67 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned}
 M_{pLL} &= P_{BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\
 &= 157,78 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 7,5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (7,5 \text{ m}) \\
 &= 828,35 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (L_s) = 7,5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	3210,18	1	1,3	3210,18	4173,23
2.	M p DL	146,25	1	1,3	146,25	190,13
3.	M q LL	1406,67	1	1,8	1406,67	2532,01
4.	M p LL	828,35	1	1,8	828,35	1491,02
TOTAL					5591,45	8386,38

Maka Mu total = 8386,38 kN.m

• **Segmen 4 (Jarak , Lx = 10 m)**

Jumlah diafragma (n) = 3

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned}
 V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \\
 &= 642,96 \text{ kN} - 48,917 \text{ kN/m} \times 10 \text{ m} - (3 \times 9 \text{ kN}) \\
 &= 126,79 \text{ kN} \\
 V_{UDL} &= 126,79 \text{ kN} \times 1,3 \\
 &= 164,83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P \text{ BGT} \times (L - L_s)}{L} \\
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (25 - 10) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 94,67 \text{ kN} \\
 &= 362,61 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$R_b = \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P \text{ BGT} \times (L_s)}{L}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (10 \text{ m})}{25 \text{ m}} \\
 &= 267,94 \text{ kN} + 63,11 \text{ kN} \\
 &= 331,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .
 $= 362,61 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}
 V_{uLL} &= 362,61 \text{ kN} \times 1,8 \\
 &= 652,69 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\
 &= 164,83 \text{ kN} + 652,69 \text{ kN} \\
 &= 817,52 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M_{qDL})

$$\begin{aligned}
 M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\
 &= 611,46 \text{ kN} \times (10 \text{ m}) - (0,5 \times 48,917 \text{ kN/m} \times \\
 &\quad (10 \text{ m})^2) \\
 &= 3668,78 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M_{pDL})

$$\begin{aligned}
 M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times s - (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times (L_s - 4,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times (L_s - 8,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 9 \text{ kN}) \times 10 \text{ m} - (9 \text{ kN} \times (10 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) - (9 \text{ kN} \times (10 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) - (9 \text{ kN} \times (10 \text{ m} - 8,5 \text{ m})) \\
 &= 166,5 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M_{qLL})

$$M_{qLL} = (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2))$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,5 \times 21,435 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (10 \text{ m}) - (0,5 \times \\
 &\quad 21,435 \text{ kN/m} \times (10 \text{ m})^2) \\
 &= 1607,63 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned}
 M_{pLL} &= P_{BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\
 &= 157,78 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 10 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (10 \text{ m}) \\
 &= 946,68 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (Ls) = 10 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	3668,78	1	1,3	3668,78	4769,41
2.	M p DL	166,5	1	1,3	166,5	216,45
3.	M q LL	1607,63	1	1,8	1607,63	2893,73
4.	M p LL	946,68	1	1,8	946,68	1704,02
TOTAL					6389,59	9583,61

Maka Mu total = 9583,61 kN.m

• **Segmen 5 (Jarak , Lx = 12,5 m)**

Jumlah diafragma (n) = 3

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned}
 V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times \\
 &\quad P \text{ diafragma}) \\
 &= 642,96 \text{ kN} - 48,917 \text{ kN/m} \times 12,5 \text{ m} - (3 \times 9 \text{ kN}) \\
 &= 4,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{uDL} = 4,5 \text{ kN} \times 1,3$$

$$= 5,85 \text{ kN}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L - L_s)}{L} \\ &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (25 - 12,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 267,94 \text{ kN} + 78,89 \text{ kN} \\ &= 346,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L_s)}{L} \\ &= \frac{21,44 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{157,78 \text{ kN} \times (12,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 267,94 \text{ kN} + 78,89 \text{ kN} \\ &= 346,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .

$$= 346,83 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{uLL} &= 346,83 \text{ kN} \times 1,8 \\ &= 624,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\ &= 5,85 \text{ kN} + 624,29 \text{ kN} \\ &= 630,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M_{qDL})

$$M_{qDL} = (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2))$$

$$\begin{aligned}
 &= 611,46 \text{ kN} \times (12,5 \text{ m}) - (0,5 \times 48,917 \text{ kN/m} \times \\
 & (12,5 \text{ m})^2) \\
 &= 3821,64 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M pDL)

$$\begin{aligned}
 \text{MpDL} &= (0,5 \times \text{n diafragma} \times \text{P diafragma}) \times \text{Ls} - \\
 & (\text{P diafragma} \times (\text{Ls} - 0,5 \text{ m})) - (\text{P diafragma} \times \\
 & (\text{Ls} - 4,5 \text{ m})) - (\text{P diafragma} \times (\text{Ls} - 8,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 9 \text{ kN}) \times 12,5 \text{ m} - (9 \text{ kN} \times \\
 & (12,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) - (9 \text{ kN} \times (12,5 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) - \\
 & (9 \text{ kN} \times (12,5 \text{ m} - 8,5 \text{ m})) \\
 &= 177,75 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned}
 \text{MqLL} &= (0,5 \times \text{qLL} \times \text{L}) \times \text{Ls} - (0,5 \times \text{qLL} \times (\text{Ls}^2)) \\
 &= (0,5 \times 21,435 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (12,5 \text{ m}) - (0,5 \times 21,435 \text{ kN/m} \times \\
 & (12,5 \text{ m})^2) \\
 &= 1674,61 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned}
 \text{MpLL} &= \text{P BGT} \times \frac{(\text{L} - \text{Ls})}{\text{L}} \times \text{Ls} \\
 &= 157,78 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 12,5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (12,5 \text{ m}) \\
 &= 986,13 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (Ls) = 12,5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	3821,64	1	1,3	3821,64	4968,13

2.	M p DL	177,75	1	1,3	177,75	231,07
3.	M q LL	1674,61	1	1,8	1674,61	3014,29
4.	M p LL	986,13	1	1,8	986,13	1775,03
TOTAL					6660,13	9988,53

Maka Mu total = 9988,53 kN.m

7.1.4 Perhitungan Penulangan Pada Girder Tengah

Rekapitulasi Kombinasi akibat beban mati dan beban hidup.

Bentang (m)	1/10 2,5 m	1/5 5 m	3/10 7,5 m	2/5 10 m	1/2 12,5 m
Mu (kN.m)	3591,66	6391,02	8386,38	9583,61	9988,53
Vu kN	1403,06	1203,98	1016,6	817,52	630,14

♦ Penulangan Girder pada 1/10 bentang

- Penulangan Lentur

$$\begin{array}{llll}
 \text{Mu} & = & 3591,66 & \text{kN.m} & \text{h} & = & 1800 & \text{mm} \\
 f_c' & = & 30 & \text{Mpa} & \text{b} & = & 800 & \text{mm} \\
 f_y & = & 400 & \text{Mpa} & \text{d}' & = & 50 & \text{mm} \\
 \phi & = & 0,8 & \text{Mpa} & \text{d} & = & 1750 & \text{mm}
 \end{array}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3591,66}{0.8} = 4489,57 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{4489,57 \times 10^6}{800 \times 3062500} = 1,832 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,832}{400}} \right) \\ &= 0,00476 \end{aligned}$$

Cek nilai ρ

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00476 < 0,0244$$

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,00476$

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00476 \times 800 \times 1750 \\ &= 6662,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan utama D - 32

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 1024 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{6662,34}{803,64} = 8,29 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur 9 D32

➤ Kontrol Penampang

$$\begin{array}{lcl} \text{As Perlu} & < & \text{As Pasang} \\ 6116,087 \text{ mm}^2 & < & 7234,56 \text{ mm}^2 \end{array}$$

➤ Kontrol kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{7234,56 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 141,85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 30 \times 141,85 \times 800 \left(1750 - \frac{141,85}{2} \right) \\ &= 4858941575 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{l} M_n \text{ perlu} < M_n \text{ pasang} \\ 4489,57 \text{ kN.m} < 4858,94 \text{ kN.m} \quad \mathbf{Ok} \end{array}$$

- Penulangan Geser

Vu	=	1403,06	kN.m	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
φv	=	0,6	Mpa	d	=	1750	mm

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 800 \times 1750 \\
 &= 1278019 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,7 \times 1278019 \text{ N} \\
 &= 894613,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{b_w \times d}{3} = \frac{800 \times 1750}{3} = 466666,7 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi geser

$$\begin{array}{llll}
 \mathbf{1} & \mathbf{V_u} & < & \mathbf{0,5 \times \phi \times V_c} \\
 \cdot & 1403062,1 & > & 447306,755 \quad \mathbf{NOT OK}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll}
 \mathbf{2} & 0,5 \times \phi \times V_c & < & V_u < \phi \times V_c \\
 \cdot & 447306,755 & < & 1403062,1 > 894613,51 \quad \mathbf{NOT OK}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll}
 \mathbf{3} & \phi \times V_c & < & V_u < \phi \times (V_c + V_{s \text{ min}}) \\
 \cdot & 894613,51 & < & 1403062,1 > 1221280,17 \quad \mathbf{NOT OK}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll}
 \mathbf{4} & \phi \times (V_c + V_{s \text{ min}}) & < & V_u < \phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) \\
 \cdot & 1221280,17 & < & 1403062,1 < 2683840,53 \quad \mathbf{OK}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 5 \quad \phi \times (V_c \times \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) &< V_u < \phi \times (V_c \times \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) \\
 \cdot \quad 2683840,53 &> 14030 < 4473067, \quad \text{NOT OK} \\
 &62,1 \quad 553
 \end{aligned}$$

Didapat perhitungan diatas bahwa kondisi 4 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}
 \phi V_s \text{ perlu} &= V_u \text{ total} - \phi V_c \\
 V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u \text{ total} - \phi V_c}{\phi} \\
 V_s \text{ perlu} &= \frac{1403,06 \text{ kN} - 894,61 \text{ kN}}{0,7} = 726,35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat jarak tulangan geser ialah $s \leq d/2 \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$.
 Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter $\phi 14 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\
 &= 307,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang tulangan.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{1750 \text{ mm}}{2} = 875 \text{ mm}$$

$$875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{726,35 \times 1000} \\
 &= 178,023 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}
 \end{aligned}$$

Untuk mempermudah pemasangan, maka direncanakan jarak sengkang 175 mm.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ pasang} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s \times 1000} \\
 &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{175 \times 1000} \\
 &= 738,903 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ terpasang} &< V_s \text{ perlu} \\
 738,903 \text{ kN} &< 726,35 \text{ kN} \quad \textbf{Ok}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan tulangan sengkang ϕ 14 – 175 mm

- Penulangan akibat Torsi

s	=	2300	mm	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
φv	=	0,60	Mpa	d	=	1750	mm

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned}
 m_t \text{ BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times \left(\frac{1}{2} \times s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2,3 \text{ m} \right)^2
 \end{aligned}$$

$$= 5,951 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{mtu BTR} &= 5,951 \text{ kN} \times 1.8 \\ &= 10,712 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2}\right)$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2}\right)$$

$$\text{Tu BTR} = 133,903 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Bid Tu BTR} &= \text{Tu BTR} - (\text{mtu BTR} \times L_s) \\ &= 133,903 \text{ kN.m} - (10,712 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\ &= 107,12 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned} \text{mt BGT} &= (1 + 0,4) 0,5 \times q \text{ BGT} \times \left(\frac{1}{2} s\right)^2 \\ &= (1 + 0,4) 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m}\right)^2 \\ &= 45,361 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{mtu BGT} = 45,361 \text{ kN.m} \times 1.8$$

$$\text{mtu BGT} = 81,65 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu BGT A} &= \text{mtu BGT} \times ((L - L_s)/L) \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 2,5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 73,48 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu BGT B} &= \text{mtu BGT} \times (L_s / L) \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((2,5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 8,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Tu LL} = 73,48 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned}
 q_{\text{plat}} &= t_s \times (S - b_w) \times W_c \\
 &= 0,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 9,375 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}
 q_{\text{asp}} &= t \times S \times W_c \\
 &= 0,07 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 3,35 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ aspal}} &= 0,5 \times q_{\text{asp}} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 3,35 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 2,342 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t u \text{ aspal}} &= 2,342 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 3,045 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ aspal} &= 3,045 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid } T_u \text{ aspal} &= T_u \text{ asp} - (m_{t u \text{ asp}} \times L_s) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m} - (3,35 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\
 &= 30,45 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ pelat}} &= 0,5 \times q_{\text{pelat}} \times \left(\frac{1}{2} S \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9,375 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 6,19 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$M_{t u \text{ pelat}} = 6,19 \text{ kN.m} \times 1,3$$

$$= 8,06 \text{ kN.m / m}$$

$$\text{Tu pelat} = 8,06 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$= 100,73 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Bid Tu pelat} &= \text{Tu pelat} - (\text{mtu pelat} \times L_s) \\ &= 100,73 \text{ kN.m} - (8,06 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\ &= 80,59 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu Total} &= \text{Tu BTR} + \text{Tu BGT} + \text{Tu aspal} + \text{Tu plat} \\ &= 107,12 \text{ kN.m} + 73,48 \text{ kN.m} + 30,45 \text{ kN.m} + \\ &80,59 \text{ kN.m} \\ &= 291,65 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Acp} &= h \times b \\ &= 1800 \times 800 \\ &= 1440000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pcp} &= 2 \times (h + b) \\ &= 2 \times (1800 + 800) \\ &= 5200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

Perhitungan batasan nilai momen torsi yang diabaikan.

$$\begin{aligned} \text{Tu} &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'} }{12} \times \left(\frac{\text{Acp}^2}{\text{Pcp}} \right) \\ &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{12} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\ &= 127,41 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Perhitungan batas atas nilai torsi

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{3} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\ &= 509,63 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol T_u ,

$$\begin{array}{ccccc} T_u \text{ min} & < & T_u & < & T_u \text{ max} \\ 127,41 \text{ kN.m} & < & 291,65 \text{ kN.m} & < & 509,63 \text{ kN.m} \end{array}$$

Maka, momen torsi yang diperhitungkan adalah

$$T_u = 291,65 \text{ kN.m}$$

Momen tahanan torsi yang diperlukan (T_n) :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{291,65}{0,6} = 416,64 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \times (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \\ &= (800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \times (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \\ &= 1156596 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= \phi \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 1158969 \text{ mm}^2 = 983106,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) + (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset))) \\ &= 2 \times ((800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) + (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14))) \\ &= 4748 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol dimensi penampang,

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + \frac{2 \times \sqrt{f_c'}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1403062}{800 \times 1750}\right)^2 + \left(\frac{291646296,3 \times 4744}{1,7 \times 1156596^2}\right)^2} = 1,0022 \text{ Mpa}$$

$$0,7 \left(\frac{1278019,301}{800 \times 1750} + \frac{2 \times \sqrt{30}}{3} \right) = 3,195 \text{ Mpa}$$

Kontrol,

$$1,0022 \text{ Mpa} \leq 3,195 \text{ Mpa}$$

maka kuat lentur penampang mencukupi.

Kebutuhan tulangan torsi.

Nilai θ ditetapkan 45° karena merupakan komponen struktur non-pratekan.

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{41663566}{2 \times 983106,6 \times 400 \times 1} \\ &= 0,5297 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d} = \frac{726355,12}{400 \times 1750} = 1,04 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 1,05 + 1,04 = 2,09 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

Dengan tulangan sengkang $\phi 14$, maka luasan 2 kaki

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\
 &= 307,87 \text{ mm}^2 / \text{dua kaki} \\
 S &= \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{307,87}{2,09} = 147,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka untuk mempermudah pemasangan, dipasang $\phi 14 - 125 \text{ mm}$

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal.

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\
 &= 0,5297 \times 4744 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1 \\
 &= 2513,12 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{\frac{1}{4} A_l \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{628,28 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 12,32 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu akibat torsi} &= 0,8 \times \frac{1}{4} A_l \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 628,28 \times 400 \left(1750 - \frac{12,32}{2} \right) \\
 &= 350,59 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu total akibat torsi} &= \text{Mu total} + \text{Mu akibat torsi} \\
 &= 3591,66 \text{ kN.m} + 350,59 \text{ kN.m} \\
 &= 3942,25 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Dalam pemasangan tulangan torsi longitudinal (A_l) disebar ;
 $\frac{1}{4}$ A_l dipasang di sisi atas, $\frac{1}{4}$ A_l dipasang di sisi bawah, dan $\frac{1}{2}$ A_l dibagian badan penampang.

- Tulangan bagian atas ; digunakan 4 D19

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1133,54 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 22,226 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu \text{ pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 1133,54 \times 400 \left(1750 - \frac{22,226}{2} \right) \\
 &= 630,75 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}
 Mu \text{ pasang} & > & Mu \text{ akibat torsi} \\
 630,75 \text{ kN.mm} & > & 350,59 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)}
 \end{array}$$

- Tulangan bagian badan ; digunakan 4 D32

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{3215,36 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 63,04 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu \text{ pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 3215,36 \times 400 \left(1750 - \frac{63,04}{2} \right) \\
 &= 1768,2 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}
 Mu \text{ pasang} & > & Mu \text{ akibat torsi} \\
 1768,2 \text{ kN.mm} & > & 698,71 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)}
 \end{array}$$

- Tulangan bagian bawah ; digunakan 10 D32

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{8038 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 157,62 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu pasang} &= 0,8 \times A_s \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 8038 \times 400 \left(1750 - \frac{157,62}{2} \right) \\
 &= 4298,78 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\
 4298,78 \text{ N.mm} & > & 3942,25 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)}
 \end{array}$$

♦ Penulangan Girder pada 1/5 bentang

- Penulangan Lentur

Mu	=	6391,02	kN.m	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	400	Mpa	d'	=	50	mm
ø	=	0,8	Mpa	d	=	1750	mm

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6391,02}{0,8} = 7988,77 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{7988,77 \times 10^6}{800 \times 3062500} = 3,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.0325$$

$$= 0.024$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15,686$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,832}{400}} \right)$$

$$= 0,00476$$

Cek nilai ρ

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\max} \\ 0,0035 & < & 0,00875 & < & 0,0244 \end{array}$$

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,00875$

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00875 \times 800 \times 1750 \\ &= 12253,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan utama D - 32

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 1024 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{12253,74}{803,64} = 15,24 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur 16 D32

➤ Kontrol Penampang

$$\begin{array}{ccccc} A_s \text{ Perlu} & < & A_s \text{ Pasang} \\ 12253,74 \text{ mm}^2 & < & 12861,44 \text{ mm}^2 \end{array}$$

➤ Kontrol kemampuan Penampang

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{12861,44 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 252,18 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,85 \times f_c' \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 252,18 \times 800 \left(1750 - \frac{252,18}{2} \right)$$

$$= 8354315299 \text{ N.mm}$$

Kontrol,

Mn perlu	<	Mn pasang	
7988,7763 kN.m	<	8354,3153 kN.m	Ok

- Penulangan Geser

Vu	=	1203,98	kN.m	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
φv	=	0,6	Mpa	d	=	1750	mm

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 800 \times 1750$$

$$= 1278019 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,7 \times 1278019 \text{ N} \\ &= 894613,3 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{bw \times d}{3} = \frac{800 \times 1750}{3} = 466666,7 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi geser

1	Vu	<	0,5 x ϕ x Vc			
.	1203981,5	>	447306,755			NOT OK
2	0,5 x ϕ x Vc	<	Vu	<	ϕ x Vc	
.	447306,755	<	120398 1,5	>	894613,51	NOT OK
3	ϕ x Vc	<	Vu	<	ϕ x (Vc + Vs min)	
.	894613,51	<	120398 1,5	<	1221280,1 7	OK
4	ϕ x (Vc +Vs min)	<	Vu	<	ϕ x (Vc x 1/3√fc'x bw x d)	
.	1221280,17	>	120398 1,5	<	2683840,5 3	NOT OK

$$\begin{array}{rclcl}
 5 & \phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times & & V_u & < & \phi \times (V_c \times 2/3 \sqrt{f_c'} \times \\
 . & b_w \times d) & & & & b_w \times d) \\
 & 2683840,53 & > & 120398 & < & 4473067,5 & \text{NOT} \\
 & & & 1,5 & & 53 & \text{OK}
 \end{array}$$

Didapat perhitungan diatas bahwa kondisi 3 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}
 \phi V_s \text{ perlu} &= V_u \text{ total} - \phi V_c \\
 V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u \text{ total} - \phi V_c}{\phi} \\
 V_s \text{ perlu} &= \frac{1203,98 \text{ kN} - 894,61 \text{ kN}}{0,7} = 441,95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat jarak tulangan geser ialah $s \leq d/2 \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$.
 Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter $\phi 14 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\
 &= 307,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang tulangan.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{1750 \text{ mm}}{2} = 875 \text{ mm}$$

$$875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\
 &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{728,61 \times 1000}
 \end{aligned}$$

$$= 292,58 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\mathbf{OK})$$

Untuk memepermudah pemasangan, maka direncanakan jarak sengkang 275 mm.

$$\begin{aligned} V_s \text{ pasang} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s \times 1000} \\ &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{275 \times 1000} \\ &= 470,21 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{lll} V_s \text{ terpasang} & < & V_s \text{ perlu} \\ 470,21 \text{ kN} & < & 441,95 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok} \end{array}$$

Maka direncanakan tulangan sengkang $\phi 14 - 275 \text{ mm}$

- Penulangan akibat Torsi

$$\begin{array}{llll} s & = & 2300 & \text{mm} & h & = & 1800 & \text{mm} \\ f_c' & = & 30 & \text{Mpa} & b & = & 800 & \text{mm} \\ f_y & = & 240 & \text{Mpa} & d' & = & 50 & \text{mm} \\ \phi_v & = & 0,60 & \text{Mpa} & d & = & 1750 & \text{mm} \end{array}$$

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned} m_t \text{ BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times \left(\frac{1}{2} \times s \right)^2 \\ &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2,3 \text{ m} \right)^2 \\ &= 5,951 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$m_{tu} \text{ BTR} = 5,951 \text{ kN} \times 1.8$$

$$= 10,712 \text{ kN}$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 133,903 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Bid Tu BTR} &= \text{Tu BTR} - (\text{mtu BTR} \times L_s) \\ &= 133,903 \text{ kN.m} - (10,712 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\ &= 80,342 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned} \text{mt BGT} &= (1 + 0,4) 0,5 \times q \text{ BGT} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\ &= (1 + 0,4) 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\ &= 45,361 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{mtu BGT} = 45,361 \text{ kN.m} \times 1.8$$

$$\text{mtu BGT} = 81,65 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu BGT A} &= \text{mtu BGT} \times ((L - L_s)/L) \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 65,321 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu BGT B} &= \text{mtu BGT} \times (L_s / L) \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 16,33 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Tu LL} = 65,321 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$q_{\text{plat}} = t_s \times (S - b_w) \times W_c$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 9,375 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}
 q_{\text{asp}} &= t \times S \times W_c \\
 &= 0,07 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 3,35 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ aspal}} &= 0,5 \times q_{\text{asp}} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 3,35 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 2,342 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{tu \text{ aspal}} &= 2,342 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 3,045 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ aspal}} &= 3,045 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid } T_{u \text{ aspal}} &= T_{u \text{ asp}} - (m_{tu \text{ asp}} \times L_s) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m} - (3,35 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\
 &= 22,836 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ pelat}} &= 0,5 \times q_{\text{pelat}} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9,375 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 6,19 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tu \text{ pelat}} &= 6,19 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 8,06 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ pelat}} &= 8,06 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 100,73 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu pelat} &= \text{Tu pelat} - (\text{mtu pelat} \times \text{Ls}) \\
 &= 100,73 \text{ kN.m} - (8,06 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\
 &= 60,442 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu Total} &= \text{Tu BTR} + \text{Tu BGT} + \text{Tu aspal} + \text{Tu plat} \\
 &= 80,342 \text{ kN.m} + 65,321 \text{ kN.m} + 22,836 \text{ kN.m} \\
 &\quad + 60,442 \text{ kN.m} \\
 &= 228,941 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Acp} &= h \times b \\
 &= 1800 \times 800 \\
 &= 1440000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pcp} &= 2 \times (h + b) \\
 &= 2 \times (1800 + 800) \\
 &= 5200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

Perhitungan batasan nilai momen torsi yang diabaikan.

$$\begin{aligned}
 \text{Tu} &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left(\frac{\text{Acp}^2}{\text{Pcp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{12} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 127,41 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas atas nilai torsi

$$\begin{aligned}
 \text{Tu} &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{\text{Acp}^2}{\text{Pcp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{3} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 509,63 \text{ kN.m}$$

Kontrol T_u ,

$$\begin{array}{llll} T_u \text{ min} & < & T_u & < & T_u \text{ max} \\ 127,41 \text{ kN.m} & < & 228,941 \text{ kN.m} & < & 509,63 \text{ kN.m} \end{array}$$

Maka, momen torsi yang diperhitungkan adalah

$$T_u = 228,941 \text{ kN.m}$$

Momen tahanan torsi yang diperlukan (T_n) :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{228,941}{0,7} = 327,058 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \times (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \\ &= (800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \times (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \\ &= 1156596 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= \phi \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 1156596 \text{ mm}^2 = 983106,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) + (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset))) \\ &= 2 \times ((800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) + (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14))) \\ &= 4744 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol dimensi penampang,

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + \frac{2 \times \sqrt{f_c}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1203981,45}{800 \times 1750}\right)^2 + \left(\frac{228941115,9 \times 4744}{1,7 \times 1158969^2}\right)^2} = 0,86 \text{ Mpa}$$

$$0,70 \left(\frac{1278019,301}{800 \times 1750} + \frac{2 \times \sqrt{30}}{3} \right) = 3,879 \text{ Mpa}$$

Kontrol,

$$0,86 \text{ Mpa} \leq 3,879 \text{ Mpa}$$

maka kuat lentur penampang mencukupi.

Kebutuhan tulangan torsi.

Nilai θ ditetapkan 45° karena merupakan komponen struktur non-pratekan.

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{327058737}{2 \times 983106,6 \times 400 \times 1} \\ &= 0,416 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d} = \frac{441954,19}{400 \times 1750} = 0,63 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 0,83 + 0,63 = 1,46 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

Dengan tulangan sengkang $\emptyset 14$, maka luasan 2 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\ &= 307,87 \text{ mm}^2 / \text{dua kaki} \end{aligned}$$

$$S = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{307,87}{1,46} = 210,86 \text{ mm}$$

Maka untuk mempermudah pemasangan, dipasang $\phi 14 - 200 \text{ mm}$

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal.

$$\begin{aligned} Al &= \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,416 \times 4744 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1 \\ &= 1972,78 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\frac{1}{4} Al \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{493,19 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 9,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu akibat torsi} &= 0,8 \times \frac{1}{4} Al \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 493,19 \times 400 \left(1750 - \frac{9,67}{2} \right) \\ &= 275,42 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu total akibat torsi} &= \text{Mu total} + \text{Mu akibat torsi} \\ &= 6391,02 \text{ kN.m} + 275,42 \text{ kN.m} \\ &= 6666,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Dalam pemasangan tulangan torsi longitudinal (Al) disebar ;
 $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi atas, $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi bawah, dan $\frac{1}{2}$ Al
 dibagian badan penampang.

- Tulangan bagian atas ; digunakan 4 D19

$$\text{Mu pasang} > \text{Mu akibat torsi}$$

$$630,75 \text{ kN.mm} > 275,42 \text{ kN.m} \quad (\text{OK})$$

- Tulangan bagian badan ; digunakan 4 D32

$$\begin{array}{lcl} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 1768,2 \text{ kN.mm} & > & 549,32 \text{ kN.m} \end{array} \quad (\text{OK})$$

- Tulangan bagian bawah ; digunakan 16 D32

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{12861 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 252,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 12861 \times 400 \left(1750 - \frac{252,18}{2} \right) \\ &= 6693,45 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 6693,45 \text{ kN.mm} & > & 6666,44 \text{ kN.m} \end{array} \quad (\text{OK})$$

♦ Penulangan Girder pada 3/10 bentang

- Penulangan Lentur

$$\begin{array}{llll} \text{Mu} & = & 8386,38 & \text{kN.m} & h & = & 1800 & \text{mm} \\ f_c' & = & 30 & \text{Mpa} & b & = & 800 & \text{mm} \\ f_y & = & 400 & \text{Mpa} & d' & = & 50 & \text{mm} \end{array}$$

$$\phi = 0,8 \quad \text{Mpa} \quad d = 1750 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8386,38}{0,8} = 10482,98 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{10482,98 \times 10^6}{800 \times 3062500} = 4,278 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,832}{400}} \right)$$

$$= 0,00117$$

Cek nilai ρ

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0117 < 0,0244$$

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,0117$

Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0117 \times 800 \times 1750$$

$$= 16501,105 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan utama D - 32

$$A_s = \rho \times \pi \times D^2$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 1024$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{16501,105}{803,64} = 20,53$$

Maka dipasang tulangan lentur 21 D32

➤ Kontrol Penampang

$$\begin{array}{lcl} \text{As Perlu} & < & \text{As Pasang} \\ 16501,105 \text{ mm}^2 & < & 16880,64 \text{ mm}^2 \end{array}$$

➤ Kontrol kemempuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{16880,64 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 330,99 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 30 \times 330,99 \times 800 \left(1750 - \frac{330,99}{2} \right) \\ &= 10698973463 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{lcl} M_n \text{ perlu} & < & M_n \text{ pasang} \\ 10482,98 \text{ kN.m} & < & 10698,97 \text{ kN.m} \quad \quad \quad \mathbf{Ok} \end{array}$$

- Penulangan Geser

V_u	=	1016,6	kN.m	h	=	1800	mm
f_c'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
f_y	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
ϕ_v	=	0,6	Mpa	d	=	1750	mm

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 800 \times 1750 \\
 &= 1278019 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,7 \times 1278019 \text{ N} \\
 &= 894613,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{b w \times d}{3} = \frac{800 \times 1750}{3} = 466666,7 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi geser

1	Vu	<	0,5 x ϕ x Vc			
.	1016600,8	>	447306,755			NOT OK
2	0,5 x ϕ x Vc	<	Vu	<	ϕ x Vc	
.	447306,755	<	1016600,8	>	894613,51	NOT OK
3	ϕ x Vc	<	Vu	<	ϕ x (Vc + Vs min)	
.	894613,51	<	1016600,8	<	1221280,17	OK

4	$\phi \times (V_c + V_s \text{ min})$	$<$	V_u	$<$	$\phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$	
.	1221280,17	$>$	101660	$<$	2683840,53	NOT OK
			0,8			
5	$\phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$	$<$	V_u	$<$	$\phi \times (V_c \times 2/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$	
.	2683840,53	$>$	101660	$<$	4473067,553	NOT OK
			0,8			

Didapat perhitungan diatas bahwa kondisi 3 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser.

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u \text{ total} - \phi V_c$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u \text{ total} - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{1016,6 \text{ kN} - 894,61 \text{ kN}}{0,7} = 174,26 \text{ kN}$$

Syarat jarak tulangan geser ialah $s \leq d/2 \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter $\phi 14 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\
 &= 307,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang tulangan.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{1750 \text{ mm}}{2} = 875 \text{ mm}$$

$$875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(NOT OK)}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{174,26 \times 1000} \\ &= 742,01 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(NOT OK)} \end{aligned}$$

Maka direncanakan jarak sengkang 300 mm.

$$\begin{aligned} s &\leq s_{\max} = 600 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} &\leq s_{\max} = 600 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ pasang} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s \times 1000} \\ &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{300 \times 1000} \\ &= 431,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{aligned} V_s \text{ terpasang} &< V_s \text{ perlu} \\ 431,02 \text{ kN} &< 174,26 \text{ kN} \quad \textbf{Ok} \end{aligned}$$

Maka direncanakan tulangan sengkang ϕ 14 – 300 mm

- Penulangan akibat Torsi

s	=	2300	mm	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
φv	=	0,60	Mpa	d	=	1750	mm

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned}
 \text{mt BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times \left(\frac{1}{2} \times s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 5,951 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mtu BTR} &= 5,951 \text{ kN} \times 1.8 \\
 &= 10,712 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 133,903 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu BTR} &= \text{Tu BTR} - (\text{mtu BTR} \times L_s) \\
 &= 133,903 \text{ kN.m} - (10,712 \text{ kN} \times 7,5 \text{ m}) \\
 &= 53,56 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned}
 \text{mt BGT} &= (1 + 0,4) 0,5 \times q \text{ BGT} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= (1 + 0,4) 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 45,361 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\text{mtu BGT} = 45,361 \text{ kN.m} \times 1.8$$

$$\text{mtu BGT} = 81,65 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu BGT A} &= \text{mtu BGT} \times ((L - L_s)/L) \\
 &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 7,5 \text{ m})/ 25 \text{ m}) \\
 &= 57,16 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu BGT B} &= \text{mtu BGT} \times (L_s) / L \\
 &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((7,5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\
 &= 24,49 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tu LL} = 57,16 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned}
 q_{\text{plat}} &= t_s \times (S - b_w) \times W_c \\
 &= 0,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 9,375 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}
 q_{\text{asp}} &= t \times S \times W_c \\
 &= 0,07 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 3,35 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mt aspal} &= 0,5 \times q_{\text{asp}} \times \left(\frac{1}{2} s\right)^2 \\
 &= 0,5 \times 3,35 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m}\right)^2 \\
 &= 2,342 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mtu aspal} &= 2,342 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 3,045 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu aspal} &= 3,045 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2}\right) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu aspal} &= \text{Tu asp} - (\text{mtu asp} \times L_s) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m} - (3,35 \text{ kN} \times 7,5 \text{ m}) \\
 &= 15,22 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_t \text{ pelat} &= 0,5 \times q \text{ pelat} \times \left(\frac{1}{2} S \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9,375 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 6,19 \text{ kN.m / m} \\
 M_{tu} \text{ pelat} &= 6,19 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 8,06 \text{ kN.m / m} \\
 T_u \text{ pelat} &= 8,06 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 100,73 \text{ kN.m} \\
 \text{Bid } T_u \text{ pelat} &= T_u \text{ pelat} - (m_{tu} \text{ pelat} \times L_s) \\
 &= 100,73 \text{ kN.m} - (8,06 \text{ kN} \times 7,5 \text{ m}) \\
 &= 40,29 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ Total} &= T_u \text{ BTR} + T_u \text{ BGT} + T_u \text{ aspal} + T_u \text{ plat} \\
 &= 53,56 \text{ kN.m} + 57,16 \text{ kN.m} + 15,22 \text{ kN.m} \\
 &\quad + 40,29 \text{ kN.m} \\
 &= 166,24 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= h \times b \\
 &= 1800 \times 800 \\
 &= 1440000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (h + b) \\
 &= 2 \times (1800 + 800) \\
 &= 5200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

Perhitungan batasan nilai momen torsi yang diabaikan.

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{12} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 127,41 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas atas nilai torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{3} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 509,63 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Kontrol T_u ,

$$\begin{array}{ccccc}
 T_{u \text{ min}} & < & T_u & < & T_{u \text{ max}} \\
 127,41 \text{ kN.m} & < & 166,24 \text{ kN.m} & < & 509,63 \text{ kN.m}
 \end{array}$$

Maka, momen torsi yang diperhitungkan adalah

$$T_u = 166,24 \text{ kN.m}$$

Momen tahanan torsi yang diperlukan (T_n) :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{166,24}{0,7} = 237,488 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \times (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \\
 &= (800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \times (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \\
 &= 1156596 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= \phi \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 1156596 \text{ mm}^2 = 983106,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times ((b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) + (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset))) \\
 &= 2 \times ((800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) + (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)))
 \end{aligned}$$

$$= 4744 \text{ mm}$$

Kontrol dimensi penampang,

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + \frac{2 \times \sqrt{f_c}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1016600,8}{800 \times 1750}\right)^2 + \left(\frac{166235935,6 \times 4744}{1,7 \times 1158969^2}\right)^2} = 0,726 \text{ Mpa}$$

$$0,70 \left(\frac{1278019,301}{800 \times 1750} + \frac{2 \times \sqrt{30}}{3}\right) = 3,879 \text{ Mpa}$$

Kontrol,

$$0,726 \text{ Mpa} \leq 3,879 \text{ Mpa}$$

maka kuat lentur penampang mencukupi.

Kebutuhan tulangan torsi.

Nilai θ ditetapkan 45° karena merupakan komponen struktur non-pratekan.

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{237479908}{2 \times 983106,6 \times 400 \times 1} \\ &= 0,302 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d} = \frac{174267,5}{400 \times 1750} = 0,24 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 0,60 + 0,24 = 0,85 \text{ mm}^2/\text{mm}/2 \text{ kaki}$$

Dengan tulangan sengkang ϕ 14, maka luasan 2 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\ &= 307,87 \text{ mm}^2 / \text{dua kaki} \end{aligned}$$

$$S = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{307,87}{0,85} = 362,2 \text{ mm}$$

Maka untuk mempermudah pemasangan, dipasang ϕ 14 – 300 mm

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal.

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} p h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,3019 \times 4744 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1 \\ &= 1432,45 \text{ mm}^2 \\ a &= \frac{\frac{1}{4} A_l \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{358,11 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 7,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu akibat torsi} &= 0,8 \times \frac{1}{4} A_l \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 358,11 \times 400 \left(1750 - \frac{7,02}{2} \right) \\ &= 200,14 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu total akibat torsi} &= \text{Mu total} + \text{Mu akibat torsi} \\ &= 8386,38 \text{ kN.m} + 200,14 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$= 8586,53 \text{ kN.m}$$

Dalam pemasangan tulangan torsi longitudinal (Al) disebar ;
 $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi atas, $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi bawah, dan $\frac{1}{2}$ Al
 dibagian badan penampang.

- Tulangan bagian atas ; digunakan 4 D19

$$\begin{array}{lll} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 630,75 \text{ kN.mm} & > & 200,14 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

- Tulangan bagian badan ; digunakan 4 D32

$$\begin{array}{lll} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 1768,2 \text{ kN.mm} & > & 399,47, \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

- Tulangan bagian bawah ; digunakan 22 D32

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{17684,48 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 346,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 17684,48 \times 400 \left(1750 - \frac{346,75}{2} \right) \\ &= 8922,16 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 8922,16 \text{ kN.mm} & > & 8586,53 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

♦ Penulangan Girder pada 2/5 bentang

- Penulangan Lentur

Mu	=	9583,61	kN.m	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	400	Mpa	d'	=	50	mm
ø	=	0,8	Mpa	d	=	1750	mm

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{9583,61}{0.8} = 11979,508 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{10482,98 \times 10^6}{800 \times 3062500} = 4,889 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.0325$$

$$= 0.024$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15,686$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,832}{400}} \right) \\ &= 0,0137 \end{aligned}$$

Cek nilai ρ

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0137 < 0,0244$$

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,0137$

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0137 \times 800 \times 1750 \\ &= 19172,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan utama D - 32

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 1024 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{19172,98}{803,64} = 23,85
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur 24 D32

➤ Kontrol Penampang

$$\begin{array}{ll}
 A_s \text{ Perlu} < A_s \text{ Pasang} \\
 19172,98 \text{ mm}^2 < 19292,16 \text{ mm}^2
 \end{array}$$

➤ Kontrol kemempuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{19292,16 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 378,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \times 30 \times 378,28 \times 800 \left(1750 - \frac{378,28}{2} \right) \\
 &= 12044953422 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{lll}
 M_n \text{ perlu} < M_n \text{ pasang} \\
 11979,508 \text{ kN.m} < 12044,95 \text{ kN.m} & \mathbf{Ok}
 \end{array}$$

- Penulangan Geser

$$\begin{array}{llll}
 \mathbf{Vu} & = & \mathbf{817,52} & \mathbf{kN.m} & \mathbf{h} & = & \mathbf{1800} & \mathbf{mm} \\
 \mathbf{fc'} & = & \mathbf{30} & \mathbf{Mpa} & \mathbf{b} & = & \mathbf{800} & \mathbf{mm} \\
 \mathbf{fy} & = & \mathbf{240} & \mathbf{Mpa} & \mathbf{d'} & = & \mathbf{50} & \mathbf{mm} \\
 \mathbf{\phi v} & = & \mathbf{0,6} & \mathbf{Mpa} & \mathbf{d} & = & \mathbf{1750} & \mathbf{mm}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 Vc &= \frac{1}{6} \times \sqrt{fc'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 800 \times 1750 \\
 &= 1278019 \text{ N} \\
 \phi Vc &= 0,7 \times 1278019 \text{ N} \\
 &= 894613,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$Vs \text{ min} = \frac{bw \times d}{3} = \frac{800 \times 1750}{3} = 466666,7 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi geser

$$\begin{array}{llll}
 \mathbf{1} & \mathbf{Vu} & < & \mathbf{0,5 \times \phi \times Vc} \\
 \cdot & 817520,15 & > & 447306,755 \quad \mathbf{NOT OK} \\
 \\
 \mathbf{2} & 0,5 \times \phi \times Vc & < & Vu < \phi \times Vc \\
 \cdot & 447306,755 & < & 81752 < 894613,51 \quad \mathbf{OK} \\
 & & & 0,15 \\
 & \phi \times Vc & < & Vu < \phi \times (Vc + Vs \text{ min})
 \end{array}$$

3

.

$$894613,51 > 81752 < 1221280,17 \quad \text{NOT OK}$$

$$4 \quad \phi \times (V_c + V_s \text{ min}) < V_u < \phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

.

$$1221280,17 > 81752 < 2683840,53 \quad \text{NOT OK}$$

$$5 \quad \phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) < V_u < \phi \times (V_c \times 2/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

.

$$2683840,53 > 81752 < 4473067,55 \quad \text{NOT OK}$$

Didapat perhitungan diatas bahwa kondisi 2 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser minimum.

Syarat jarak tulangan geser ialah $s \leq d/2 \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter $\phi 14 \text{ mm}$

Jarak antar sengkang tulangan.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{1750 \text{ mm}}{2} = 875 \text{ mm}$$

$$875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka direncanakan tulangan sengkang $\phi 14 - 300 \text{ mm}$

$$s \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \leq s_{\max} = 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka direncanakan tulangan sengkang $\phi 14 - 300 \text{ mm}$

- Penulangan akibat Torsi

s	=	2300	mm	h	=	1800	mm
f_c'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
f_y	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
φ_v	=	0,60	Mpa	d	=	1750	mm

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned}
 \text{mt BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times \left(\frac{1}{2} \times s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 5,951 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mtu BTR} &= 5,951 \text{ kN} \times 1.8 \\
 &= 10,712 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 133,903 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu BTR} &= \text{Tu BTR} - (\text{mtu BTR} \times L_s) \\
 &= 133,903 \text{ kN.m} - (10,712 \text{ kN} \times 10 \text{ m}) \\
 &= 26,781 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned}
 mt \text{ BGT} &= (1 + 0,4) 0,5 \times q \text{ BGT} \times \left(\frac{1}{2} s\right)^2 \\
 &= (1 + 0,4) 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m}\right)^2 \\
 &= 45,361 \text{ kN.m} \\
 mtu \text{ BGT} &= 45,361 \text{ kN.m} \times 1.8 \\
 mtu \text{ BGT} &= 81,65 \text{ kN.m} \\
 Tu \text{ BGT A} &= mtu \text{ BGT} \times ((L - L_s)/L) \\
 &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 10 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\
 &= 48,99 \text{ kN.m} \\
 Tu \text{ BGT B} &= mtu \text{ BGT} \times (L_s) / L \\
 &= 81,65 \text{ kN.m} \times (10 \text{ m}) / 25 \text{ m} \\
 &= 32,66 \text{ kN.m} \\
 Tu \text{ LL} &= 48,99 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned}
 q \text{ plat} &= ts \times (S - bw) \times Wc \\
 &= 0,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 9,375 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}
 q \text{ asp} &= t \times S \times Wc \\
 &= 0,07 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 3,35 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 mt \text{ aspal} &= 0,5 \times q \text{ asp} \times \left(\frac{1}{2} s\right)^2 \\
 &= 0,5 \times 3,35 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m}\right)^2 \\
 &= 2,342 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mtu aspal} &= 2,342 \text{ kN.m} \times 1,3 \\ &= 3,045 \text{ kN.m} / \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tu aspal} &= 3,045 \text{ kN.m} / \text{m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\ &= 38,06 \text{ kN.m} / \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bid Tu aspal} &= \text{Tu asp} - (\text{mtu asp} \times \text{Ls}) \\ &= 38,06 \text{ kN.m} - (3,35 \text{ kN} \times 10 \text{ m}) \\ &= 7,612 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mt pelat} &= 0,5 \times q \text{ pelat} \times \left(\frac{1}{2} S \right)^2 \\ &= 0,5 \times 9,375 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\ &= 6,19 \text{ kN.m} / \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mtu pelat} &= 6,19 \text{ kN.m} \times 1,3 \\ &= 8,06 \text{ kN.m} / \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tu pelat} &= 8,06 \text{ kN.m} / \text{m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\ &= 100,73 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bid Tu pelat} &= \text{Tu pelat} - (\text{mtu pelat} \times \text{Ls}) \\ &= 100,73 \text{ kN.m} - (8,06 \text{ kN} \times 10 \text{ m}) \\ &= 20,14 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tu Total} &= \text{Tu BTR} + \text{Tu BGT} + \text{Tu aspal} + \text{Tu plat} \\ &= 26,781 \text{ kN.m} + 48,99 \text{ kN.m} + 7,612 \text{ kN.m} \\ &\quad + 20,14 \text{ kN.m} \\ &= 103,53 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Acp} &= h \times b \\ &= 1800 \times 800 \\ &= 1440000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (h + b) \\
 &= 2 \times (1800 + 800) \\
 &= 5200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

Perhitungan batasan nilai momen torsi yang diabaikan.

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{12} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 127,41 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas atas nilai torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{3} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 509,63 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Kontrol T_u ,

$$\begin{array}{ccccc}
 T_u \text{ min} & < & T_u & < & T_u \text{ max} \\
 127,41 \text{ kN.m} & < & 103,53 \text{ kN.m} & < & 509,63 \text{ kN.m}
 \end{array}$$

Maka, momen torsi yang diperhitungkan adalah

$$T_u = 103,53 \text{ kN.m}$$

Momen tahanan torsi yang diperlukan (T_n) :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{103,53}{0,7} = 147,90 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset) \times (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \\
 &= (800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14) \times (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \\
 &= 1156596 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= \phi \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 1156596 \text{ mm}^2 = 983106,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times ((b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset) + (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset))) \\
 &= 2 \times ((800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14) + (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14))) \\
 &= 4744 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol dimensi penampang,

$$\begin{aligned}
 &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + \frac{2 \times \sqrt{f_c}}{3}\right) \\
 &\sqrt{\left(\frac{817520,15}{800 \times 1750}\right)^2 + \left(\frac{103530755 \times 4744}{1,7 \times 1158969^2}\right)^2} = 0,584 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$0,70 \left(\frac{1278019,301}{800 \times 1750} + \frac{2 \times \sqrt{30}}{3}\right) = 3,879 \text{ Mpa}$$

Kontrol,

$$\begin{aligned}
 0,584 \text{ Mpa} &\leq 3,879 \text{ Mpa} \\
 \text{maka kuat lentur penampang mencukupi.}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan torsi.

Nilai θ ditetapkan 45° karena merupakan komponen struktur non-pratekan.

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{147901079}{2 \times 983106,6 \times 400 \times 1} \\
 &= 0,188 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d} = \frac{110133,37}{400 \times 1750} = 0,16 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 0,37 + 0,16 = 0,53 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

Dengan tulangan sengkang ϕ 14, maka luasan 2 kaki

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\
 &= 307,87 \text{ mm}^2 / \text{dua kaki} \\
 S &= \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{307,87}{0,53} = 580,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

Karena tulangan geser minimum, maka dipasang ϕ 14 – 300 mm

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal.

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\
 &= 0,3019 \times 4744 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1 \\
 &= 892,1 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{\frac{1}{4} A_l \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{223,03 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 4,37 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu akibat torsi} &= 0,8 \times \frac{1}{4} A_l \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 223,03 \times 400 \left(1750 - \frac{4,37}{2} \right) \\ &= 124,74 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu total akibat torsi} &= \text{Mu total} + \text{Mu akibat torsi} \\ &= 9853,61 \text{ kN.m} + 124,74 \text{ kN.m} \\ &= 9708,35 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Dalam pemasangan tulangan torsi longitudinal (A_l) disebar ;
 $\frac{1}{4} A_l$ dipasang di sisi atas, $\frac{1}{4} A_l$ dipasang di sisi bawah, dan $\frac{1}{2} A_l$ dibagian badan penampang.

- Tulangan bagian atas ; digunakan 4 D19

$$\begin{array}{lll} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 630,75 \text{ kN.mm} & > & 223,03 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

- Tulangan bagian badan ; digunakan 4 D32

$$\begin{array}{lll} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 1768,2 \text{ kN.mm} & > & 249,17, \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

- Tulangan bagian bawah ; digunakan 25 D32

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{20096 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 394,039 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu pasang} &= 0,8 \times \text{As pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 20096 \times 400 \left(1750 - \frac{394,039}{2} \right) \\
 &= 9986,78 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Mu pasang} & > \text{Mu akibat torsi} \\
 9986,78 \text{ kN.mm} & > 9832,77 \text{ kN.m} \quad \text{(OK)}
 \end{array}$$

♦ Penulangan Girder pada 1/10 bentang

- Penulangan Lentur

$$\begin{array}{llll}
 \text{Mu} & = & 9988,53 & \text{kN.m} & \text{h} & = & 1800 & \text{mm} \\
 \text{fc}' & = & 30 & \text{Mpa} & \text{b} & = & 800 & \text{mm} \\
 \text{fy} & = & 400 & \text{Mpa} & \text{d}' & = & 50 & \text{mm} \\
 \phi & = & 0,8 & & \text{d} & = & 1750 & \text{mm}
 \end{array}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{9988,53}{0,8} = 12485,66 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mn}}{\text{b} \times \text{d}^2} = \frac{12485,66 \times 10^6}{800 \times 3062500} = 5,096 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times \text{fc}'}{\text{fy}} \times \frac{600}{600 + \text{fy}}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_b \\ &= 0.75 \times 0.0325 \\ &= 0.024\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15,686$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,832}{400}} \right) \\ &= 0,0143\end{aligned}$$

Cek nilai ρ

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0143 < 0,0244$$

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,0143$

Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0143 \times 800 \times 1750$$

$$= 20100,03 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan utama D - 32

$$A_s = \rho \times \pi \times D^2$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 1024$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{20100,03}{803,64} = 25,005 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur 26 D32

➤ Kontrol Penampang

$$\begin{array}{lcl} A_s \text{ Perlu} & < & A_s \text{ Pasang} \\ 20100,03 \text{ mm}^2 & < & 20899,84 \text{ mm}^2 \end{array}$$

➤ Kontrol kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{20899,84 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 409,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \times 30 \times 409,8 \times 800 \left(1750 - \frac{409,8}{2} \right) \\
 &= 12916933835 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{lll}
 M_n \text{ perlu} & < & M_n \text{ pasang} \\
 12485,66 \text{ kN.m} & < & 12916,93 \text{ kN.m} \quad \quad \quad \mathbf{Ok}
 \end{array}$$

- Penulangan Geser

$$\begin{array}{llll}
 V_u & = & 630,14 & \text{kN.m} & h & = & 1800 & \text{mm} \\
 f_c' & = & 30 & \text{Mpa} & b & = & 800 & \text{mm} \\
 f_y & = & 240 & \text{Mpa} & d' & = & 50 & \text{mm} \\
 \phi_v & = & 0,6 & \text{Mpa} & d & = & 1750 & \text{mm}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 800 \times 1750 \\
 &= 1278019 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,7 \times 1278019 \text{ N} \\
 &= 894613,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{b_w \times d}{3} = \frac{800 \times 1750}{3} = 466666,7 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi geser

1	V_u	<	$0,5 \times \phi \times V_c$	
.	644289,5	>	447306,755	NOT OK
2	$0,5 \times \phi \times V_c$	<	V_u	< $\phi \times V_c$
.	447306,755	<	644289,5	< 894613,51 OK
3	$\phi \times V_c$	<	V_u	< $\phi \times (V_c + V_s \text{ min})$
.	894613,51	>	644289,5	< 1221280,17 NOT OK
4	$\phi \times (V_c + V_s \text{ min})$	<	V_u	< $\phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$
.	1221280,17	>	644289,5	< 2683840,53 NOT OK
5	$\phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$	<	V_u	< $\phi \times (V_c \times 2/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$
.	2683840,53	>	644289,5	< 4473067,55 NOT OK

3

Didapat perhitungan diatas bahwa kondisi 2 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser minimum.

Syarat jarak tulangan geser ialah $s \leq d/2 \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter $\phi 14 \text{ mm}$

Jarak antar sengkang tulangan.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{1750 \text{ mm}}{2} = 875 \text{ mm}$$

$$875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka direncanakan tulangan sengkang ϕ 14 – 300 mm

$$s \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \leq s_{\max} = 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka direncanakan tulangan sengkang ϕ 14 – 300 mm

- Penulangan akibat Torsi

$$s = 2300 \text{ mm} \quad h = 1800 \text{ mm}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa} \quad b = 800 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa} \quad d' = 50 \text{ mm}$$

$$\phi_v = 0,60 \text{ Mpa} \quad d = 1750 \text{ mm}$$

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned} m_t \text{ BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times \left(\frac{1}{2} \times s \right)^2 \\ &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2,3 \text{ m} \right)^2 \\ &= 5,951 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{tu} \text{ BTR} &= 5,951 \text{ kN} \times 1.8 \\ &= 10,712 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Tu_{BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2}\right)$$

$$Tu_{BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2}\right)$$

$$Tu_{BTR} = 133,903 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Bid } Tu_{BTR} &= Tu_{BTR} - (mtu_{BTR} \times L_s) \\ &= 133,903 \text{ kN.m} - (10,712 \text{ kN} \times 12,5 \text{ m}) \\ &= 0.00 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned} mt_{BGT} &= (1 + 0,4) 0,5 \times q_{BGT} \times \left(\frac{1}{2} s\right)^2 \\ &= (1 + 0,4) 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m}\right)^2 \\ &= 45,361 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$mtu_{BGT} = 45,361 \text{ kN.m} \times 1.8$$

$$mtu_{BGT} = 81,65 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} Tu_{BGT A} &= mtu_{BGT} \times ((L - L_s)/L) \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 10 \text{ m})/25 \text{ m}) \\ &= 40,826 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu_{BGT B} &= mtu_{BGT} \times (L_s)/L \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times (10 \text{ m})/25 \text{ m} \\ &= 40,826 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$Tu_{LL} = 40,826 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$q_{\text{plat}} = ts \times (S - bw) \times Wc$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 9,375 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}
 q_{\text{asp}} &= t \times S \times W_c \\
 &= 0,07 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 3,35 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ aspal}} &= 0,5 \times q_{\text{asp}} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 3,35 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 2,342 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{tu \text{ aspal}} &= 2,342 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 3,045 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ aspal}} &= 3,045 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid } T_{u \text{ aspal}} &= T_{u \text{ asp}} - (m_{tu \text{ asp}} \times L_s) \\
 &= 38,06 \text{ kN.m} - (3,35 \text{ kN} \times 12,5 \text{ m}) \\
 &= 0,00 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ pelat}} &= 0,5 \times q_{\text{pelat}} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9,375 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 6,19 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tu \text{ pelat}} &= 6,19 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 8,06 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ pelat}} &= 8,06 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 100,73 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu pelat} &= \text{Tu pelat} - (\text{mtu pelat} \times L_s) \\
 &= 100,73 \text{ kN.m} - (8,06 \text{ kN} \times 12,5 \text{ m}) \\
 &= 0,00 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu Total} &= \text{Tu BGT} \\
 &= 40,826 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= h \times b \\
 &= 1800 \times 800 \\
 &= 1440000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (h + b) \\
 &= 2 \times (1800 + 800) \\
 &= 5200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

Perhitungan batasan nilai momen torsi yang diabaikan.

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{12} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 127,41 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas atas nilai torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{3} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 509,63 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Kontrol T_u ,

$$\begin{array}{llll} T_u \text{ min} & < & T_u & < & T_u \text{ max} \\ 127,41 \text{ kN.m} & < & 40,826 \text{ kN.m} & < & 509,63 \text{ kN.m} \end{array}$$

Maka, momen torsi yang diperhitungkan adalah

$$T_u = 40,826 \text{ kN.m}$$

Momen tahanan torsi yang diperlukan (T_n) :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{40,826}{0,7} = 58,32 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi)) \times (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi)) \\ &= (800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \times (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \\ &= 1156596 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= \phi \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 1156596 \text{ mm}^2 = 983106,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi)) + (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi))) \\ &= 2 \times ((800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) + (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14))) \\ &= 4744 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol dimensi penampang,

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + \frac{2 \times \sqrt{f_c}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{644289,5}{800 \times 1750}\right)^2 + \left(\frac{40825575 \times 4744}{1,7 \times 1158969^2}\right)^2} = 0,46 \text{ Mpa}$$

$$0,70 \left(\frac{1278019,301}{800 \times 1750} + \frac{2 \times \sqrt{30}}{3}\right) = 3,879 \text{ Mpa}$$

Kontrol,

0,46 Mpa \leq 3,879 Mpa
maka kuat lentur penampang mencukupi.

Kebutuhan tulangan torsi.

Nilai θ ditetapkan 45° karena merupakan komponen struktur non-pratekan.

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{147901079}{2 \times 983106,6 \times 400 \times 1} \\ &= 0,074 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki}\end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

Karena tulangan geser minimum, maka dipasang ϕ 14 – 300 mm

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal.

$$\begin{aligned}A_l &= \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,074 \times 4744 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1 \\ &= 351,79 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{\frac{1}{4} A_l \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{87,94 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 1,72 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Mu akibat torsi} = 0,8 \times \frac{1}{4} A_l \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,8 \times 223,03 \times 400 \left(1750 - \frac{4,37}{2} \right) \\
 &= 49,22 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu total akibat torsi} &= \text{Mu total} + \text{Mu akibat torsi} \\
 &= 9988,52 \text{ kN.m} + 49,22 \text{ kN.m} \\
 &= 10037,76 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Dalam pemasangan tulangan torsi longitudinal (Al) disebar ;
 $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi atas, $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi bawah, dan $\frac{1}{2}$ Al
dibagian badan penampang.

- Tulangan bagian atas ; digunakan 4 D19

$$\begin{array}{lll}
 \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\
 630,75 \text{ kN.mm} & > & 87,94 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)}
 \end{array}$$

- Tulangan bagian badan ; digunakan 4 D32

$$\begin{array}{lll}
 \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\
 1768,2 \text{ kN.mm} & > & 175,89 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)}
 \end{array}$$

- Tulangan bagian bawah ; digunakan 26 D32

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{20899 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 409,80 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 20899 \times 400 \left(1750 - \frac{409,80}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 10333,54 \text{ kN.mm}$$

Mu pasang	>	Mu akibat torsi	
10333,54 kN.mm	>	10037,75 kN.m	(OK)

7.1.5 Preliminary Design Girder Tepi

Perencanaan dimensi awal untuk girder tengah disesuaikan berdasarkan **RSNI T-12-2004 Pasal 9.2.1** adalah sebagai berikut.

Perencanaan tinggi girder tengah

$$\begin{aligned}
 &= 1/12 L \geq h \geq 1/15 L \\
 &= 1/12 \cdot 25000 \geq h \geq 1/15 \cdot 25000 \\
 &= 2083.33 \geq h \geq 1/15 \cdot 1666.67
 \end{aligned}$$

Maka untuk tinggi girder direncanakan 1800 mm = 1,8 m

Kontrol

$$\begin{aligned}
 h &\geq 165 + 0,06 \times L \text{ mm} \\
 1800 \text{ mm} &\geq 165 + 0,06 \times 2500 \text{ mm} \\
 1800 \text{ mm} &\geq 1665 \text{ mm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Perencanaan lebar girder tengah

$$\begin{aligned}
 1/3 h &\geq bw \geq 2/3 h \\
 1/3 \cdot 1800 \text{ mm} &\geq bw \geq 2/3 \cdot 1800 \text{ mm} \\
 600 \text{ mm} &\geq bw \geq 1200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka untuk lebar girder direncanakan 800 mm = 0,8 m

7.1.6 Analisa Pembebanan Girder Tepi

BEBAN MATI

- Beban Mati Merata (qDL)

a. Beban Sendiri Girder

$$\begin{aligned}
 q_{\text{girder}} &= t \times b \times W_c \\
 &= 1,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

$$= 36 \text{ kN/m}$$

- b. Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned} q_{\text{plat}} &= t_s \times (S_1 - b_w) \times W_c \\ &= 0,25 \text{ m} \times (2,726 - 0,8) \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 12,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- c. Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned} q_{\text{asp}} &= t \times S_2 \times W_c \\ &= 0,07 \text{ m} \times 2,149 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\ &= 3,31 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- d. Beban Parapet

$$\begin{aligned} q_{\text{prpt}} &= \text{Luas Parapet} \times W_c \\ &= 0,56 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 14 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e. \quad q_{\text{DL}} &= 36 \text{ kN/m} + 12,04 \text{ kN/m} + 3,31 \text{ kN/m} + \\ &14 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$= 65,35 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{uDL}} &= 65,35 \text{ kN/m} \times 1,3 \\ &= 84,95 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Mati Terpusat

- d. Beban Diafragma

$$\begin{aligned} P_{\text{diafragma}} &= h \times b \times ((s - b_w)/2) \times W_c \\ &= 0,8 \text{ m} \times 0,3 \times 0,75 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 4,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{u diafragma}} &= 4,5 \text{ kN} \times 1,3 \\ &= 5,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

BEBAN HIDUP

Beban Hidup pada girder terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) seperti pada gambar 4.11. Dan sesuai dengan **RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1**, BTR tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$q = 9 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 9 \times (1 \times 15/L) \quad \text{untuk } L \geq 30 \text{ m}$$

Sedangkan untuk BGT mempunyai intensitas :

$$P = 49 \text{ kN/m}$$

Faktor beban dinamis (DLA) untuk BGT diambil sebagai berikut :

- Beban Mati Merata (qLL)

a. Beban terbagi rata , $q = 9 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned} q_{\text{BTR}} &= q \times S_2 \\ &= 9 \text{ kN/m}^2 \times 2,149 \text{ m} \\ &= 19,34 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban terbagi rata , beban genangan air

$$\begin{aligned} q_{\text{air}} &= t \times (S_2 - bw) \times W_c \\ &= 0,05 \text{ m} \times 1,349 \text{ m} \times 9,8 \text{ kN/m}^3 \\ &= 0,674 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c. \quad q_{\text{LL}} &= 19,34 \text{ kN/m} + 0,674 \text{ kN/m} \\ &= 20,01 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{uLL}} &= 20,01 \text{ kN/m} \times 1,8 \\ &= 36,03 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban gars terpusat , $P = 49 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis , $DLA = 0,4$

$P_{BGT} = (1 + DLA) \times P \times S_2$

$= (1 + 0,4) \times 49 \text{ kN/m} \times 2,149 \text{ m}$

$= 147,42 \text{ kN}$

$P_u BGT = 147,42 \text{ kN} \times 1,8$

$= 265,36 \text{ kN}$

BEBAN TRUCK

$DLA = 0,3$ (*RSNI T-02-2005 Pasal 6.6*)

$K_{uTT} = 1,8$ (*RSNI T-02-2005 Tabel 12*)

$T_u = 112,5 \text{ kN}$ (*RSNI T-02-2005 Pasal 6.4.1*)

$P_{truck} = (1 + DLA) \times T_u \times K_{uTT}$

$= (1 + 0,4) \times 112,5 \times 1,8$

$= 283,5 \text{ kN}$

7.1.7 Perhitungan Gaya Dalam

- Reaksi perletakan pada girder

Akibat beban mati ($DL q$) :

Menghitung R_{va} dan R_{vb} akibat beban merata dan terpusat.

Beban mati merata , $R_{va} = 0,5 \times q_{DL} \times L$

$= 0,5 \times 65,35 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}$

$= 816,837 \text{ kN}$

Beban mati Terpusat , $R_{va} = 0,5 \times n \text{ diafragma} \times P_{dl}$

$= 0,5 \times 7 \times 4,5 \text{ kN}$

$= 15,75 \text{ kN}$

Total reaksi beban mati, $R_{va} = 816,837 \text{ kN} + 15,75 \text{ kN}$

$$= 832,587 \text{ kN}$$

$$R_{va} = R_{vb} = 832,587 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_{uva} = R_{uvb} &= 1,3 \times 832,587 \text{ kN} \\ &= 1082,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan girder dibagi menjadi beberapa segmen setiap 2,5 meter hingga setengah panjang girder jembatan karena dianggap simetris.

• **Segmen 1 (Jarak , $L_x = 2,5 \text{ m}$)**

Jumlah diafragma (n) = 1

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned} V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times \\ &\quad P \text{ diafragma}) \\ &= 832,587 \text{ kN} - 65,35 \text{ kN/m} \times 2,5 \text{ m} - (1 \times \\ &\quad 4,5 \text{ kN}) \\ &= 664,71 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{uDL} &= 664,71 \text{ kN} \times 1,3 \\ &= 864,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Akibat beban hidup (LL) :

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L - L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (25 - 2,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 132,68 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$= 382,87 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (2,5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 14,742 \text{ kN} \\ &= 264,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .

$$= 382,87 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{uLL} &= 382,87 \text{ kN} \times 1,8 \\ &= 689,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\ &= 864,14 \text{ kN} + 689,17 \text{ kN} \\ &= 1553,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M_{qDL})

$$\begin{aligned} M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\ &= 816,84 \text{ kN} \times (2,5 \text{ m}) - (0,5 \times 65,35 \text{ kN/m} \times \\ &\quad (2,5 \text{ m})^2) \\ &= 1837,88 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M_{pDL})

$$\begin{aligned} M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - \\ &\quad (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) \\ &= (0,5 \times 7 \times 4,5 \text{ kN}) \times 2,5 \text{ m} - (4,5 \text{ kN} \times \\ &\quad (2,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) \end{aligned}$$

$$= 30,36 \text{ kN.m}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned} M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\ &= (0,5 \times 20,01 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (2,5 \text{ m}) - (0,5 \times 20,01 \text{ kN/m} \times (2,5 \text{ m})^2) \\ &= 562,93 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned} M_{pLL} &= P_{BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\ &= 147,42 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 2,5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (2,5 \text{ m}) \\ &= 331,69 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (Ls) = 2,5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	1837,88	1	1,3	1837,88	2389,25
2.	M p DL	30,36	1	1,3	30,36	39,487
3.	M q LL	562,93	1	1,8	562,93	1013,28
4.	M p LL	331,69	1	1,8	331,69	597,06
TOTAL					2762,86	4039,08

Maka Mu total = 4039,08 kN.m

• **Segmen 2 (Jarak , Lx = 5 m)**

Jumlah diafragma (n) = 2

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned} V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times \\ &\quad P \text{ diafragma}) \\ &= 832,587 \text{ kN} - 65,35 \text{ kN/m} \times 5 \text{ m} - (2 \times \\ &\quad 4,5 \text{ kN}) \end{aligned}$$

$$= 496,85 \text{ kN}$$

$$V_{uDL} = 496,85 \text{ kN} \times 1,3$$

$$= 645,91 \text{ kN}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L - L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (25 - 5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 117,936 \text{ kN} \\ &= 368,13 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 29,484 \text{ kN} \\ &= 279,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .

$$= 368,13 \text{ kN}$$

$$V_{uLL} = 368,13 \text{ kN} \times 1,8$$

$$= 689,17 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\
 &= 645,91 \text{ kN} + 689,17 \text{ kN} \\
 &= 1308,54 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M qDL)

$$\begin{aligned}
 M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\
 &= 816,84 \text{ kN} \times (5 \text{ m}) - (0,5 \times 65,35 \text{ kN/m} \times (5 \text{ m})^2) \\
 &= 326,73 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M pDL)

$$\begin{aligned}
 M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - (P \text{ diafragma} \\
 &\times (L_s - 0,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times (L_s - 4,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 4,5 \text{ kN}) \times 5 \text{ m} - (4,5 \text{ kN} \times (5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) \\
 &\times (4,5 \text{ kN} \times (5 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) \\
 &= 56,25 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned}
 M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\
 &= (0,5 \times 20,01 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (5 \text{ m}) - (0,5 \times 20,01 \text{ kN/m} \times (5 \text{ m})^2) \\
 &= 1000,77 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned}
 M_{pLL} &= P \text{ BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\
 &= 147,42 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (5 \text{ m}) \\
 &= 589,68 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (L_s) = 5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	326,73	1	1,3	3267,31	4247,55
2.	M p DL	56,25	1	1,3	56,25	73,12
3.	M q LL	1000,77	1	1,8	1000,77	1801,39
4.	M p LL	589,68	1	1,8	589,68	1061,43
TOTAL					1973,43	7183,51

Maka Mu total = 7183,51 kN.m

• **Segmen 3 (Jarak , $L_x = 7,5$ m)**

Jumlah diafragma (n) = 2

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$V_{DL} = R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma})$$

$$= 832,587 \text{ kN} - 65,35 \text{ kN/m} \times 7,5 \text{ m} - (2 \times 4,5 \text{ kN})$$

$$= 333,48 \text{ kN}$$

$$V_{uDL} = 333,48 \text{ kN} \times 1,3$$

$$= 433,53 \text{ kN}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L - L_s)}{L} \\
 &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (25 - 7,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 250,19 \text{ kN} + 103,19 \text{ kN} \\
 &= 353,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L_s)}{L} \\
 &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (7,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\
 &= 250,19 \text{ kN} + 44,226 \text{ kN} \\
 &= 294,42 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .

$$= 353,38 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{uLL} &= 353,38 \text{ kN} \times 1,8 \\
 &= 636,09 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\
 &= 433,53 \text{ kN} + 636,09 \text{ kN} \\
 &= 1069,62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M_{qDL})

$$\begin{aligned}
 M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\
 &= 816,84 \text{ kN} \times (7,5 \text{ m}) - (0,5 \times 65,35 \text{ kN/m} \times \\
 &\quad (7,5 \text{ m})^2) \\
 &= 4288,39 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M pDL)

$$\begin{aligned}
 M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - \\
 & (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times \\
 & (L_s - 4,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 4,5 \text{ kN}) \times 7,5 \text{ m} - (4,5 \text{ kN} \times \\
 & (7,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) \times (4,5 \text{ kN} \times (7,5 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) \\
 &= 73,125 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned}
 M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\
 &= (0,5 \times 20,01 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (7,5 \text{ m}) - (0,5 \times 20,01 \text{ kN/m} \times (\\
 & 7,5 \text{ m})^2) \\
 &= 1313,52 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned}
 M_{pLL} &= P \text{ BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\
 &= 147,42 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 7,5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (7,5 \text{ m}) \\
 &= 773,96 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (L_s) = 7,5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	4288,39	1	1,3	4288,39	5574,91
2.	M p DL	73,125	1	1,3	73,125	95,06
3.	M q LL	1313,52	1	1,8	1313,52	2364,33
4.	M p LL	773,96	1	1,8	773,96	1393,13

TOTAL	6448,99	9427,44
-------	---------	---------

Maka Mu total = 9427,44 kN.m

• **Segmen 4 (Jarak , Lx = 10 m)**

Jumlah diafragma (n) = 3

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$V_{DL} = R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma})$$

$$= 832,587 \text{ kN} - 65,35 \text{ kN/m} \times 10 \text{ m} - (3 \times 4,5 \text{ kN})$$

$$= 165,62 \text{ kN}$$

$$V_{uDL} = 165,62 \text{ kN} \times 1,3$$

$$= 215,302 \text{ kN}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P \text{ BGT} \times (L - L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (25 - 10) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 88,452 \text{ kN} \\ &= 338,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P \text{ BGT} \times (L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (10) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 58,97 \text{ kN} \\ &= 309,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .

$$= 338,64 \text{ kN}$$

$$V_{uLL} = 338,64 \text{ kN} \times 1,8$$

$$= 609,56 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\ &= 215,302 \text{ kN} + 609,56 \text{ kN} \\ &= 824,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M_{qDL})

$$\begin{aligned} M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\ &= 816,84 \text{ kN} \times (10 \text{ m}) - (0,5 \times 65,35 \text{ kN/m} \times \\ &\quad (10 \text{ m})^2) \\ &= 4901,02 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M_{pDL})

$$\begin{aligned} M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - \\ &\quad (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times \\ &\quad (L_s - 4,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times (L_s - 8,5 \text{ m})) \\ &= (0,5 \times 7 \times 4,5 \text{ kN}) \times 10 \text{ m} - (4,5 \text{ kN} \times \\ &\quad (10 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) - (4,5 \text{ kN} \times (10 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) - \\ &\quad (4,5 \text{ kN} \times (10 \text{ m} - 8,5 \text{ m})) \\ &= 83,25 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M_{qLL})

$$\begin{aligned} M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\ &= (0,5 \times 20,01 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (10 \text{ m}) - (0,5 \times 20,01 \text{ kN/m} \times \\ &\quad (10 \text{ m})^2) \end{aligned}$$

$$= 1501,16 \text{ kN.m}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned} M_{pLL} &= P \text{ BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\ &= 147,42 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 10 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (10 \text{ m}) \\ &= 884,53 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (Ls) = 10 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	4901,02	1	1,3	4901,02	6371,33
2.	M p DL	83,25	1	1,3	83,25	108,225
3.	M q LL	1501,16	1	1,8	1501,16	2702,09
4.	M p LL	884,53	1	1,8	884,53	1591,15
TOTAL					7369,96	10773,79

Maka Mu total = 10773,79 kN.m

• **Segmen 5 (Jarak , Lx = 12,5 m)**

Jumlah diafragma (n) = 3

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati (V_{DL})

$$\begin{aligned} V_{DL} &= R_{va} - q_{DL} \times L_s - (n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \\ &= 832,587 \text{ kN} - 65,35 \text{ kN/m} \times 12,5 \text{ m} - (3 \times 4,5 \text{ kN}) \end{aligned}$$

$$= 2,25 \text{ kN}$$

$$V_{uDL} = 2,25 \text{ kN} \times 1,3$$

$$= 2,925 \text{ kN}$$

- Reaksi Perletakan Akibat Beban Hidup (V_{LL})

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L - L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (25 - 12,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 73,71 \text{ kN} \\ &= 323,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{q_{LL} \times L}{2} + \frac{P_{BGT} \times (L_s)}{L} \\ &= \frac{20,01 \text{ kN/m} \times 25 \text{ m}}{2} + \frac{147,42 \text{ kN} \times (12,5) \text{ m}}{25 \text{ m}} \\ &= 250,19 \text{ kN} + 73,71 \text{ kN} \\ &= 323,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_{LL} = Merupakan nilai terbesar dari perhitungan reaksi perletakan akibat beban hidup R_a dan R_b .

$$= 323,9 \text{ kN}$$

$$V_{uLL} = 323,9 \text{ kN} \times 1,8$$

$$= 583,02 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ total} &= V_{uDL} + V_{uLL} \\ &= 2,925 \text{ kN} + 583,02 \text{ kN} \\ &= 585,95 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Perhitungan Gaya Momen pada girder bentang 25 meter.

Momen akibat beban mati merata (M qDL)

$$\begin{aligned}
 M_{qDL} &= (0,5 \times q_{DL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{DL} \times (L_s^2)) \\
 &= 816,84 \text{ kN} \times (12,5 \text{ m}) - (0,5 \times 65,35 \text{ kN/m} \times \\
 & \quad (12,5 \text{ m})^2) \\
 &= 5105,23 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati terpusat (M pDL)

$$\begin{aligned}
 M_{pDL} &= (0,5 \times n \text{ diafragma} \times P \text{ diafragma}) \times L_s - \\
 & \quad (P \text{ diafragma} \times (L_s - 0,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times \\
 & \quad (L_s - 4,5 \text{ m})) - (P \text{ diafragma} \times (L_s - 8,5 \text{ m})) \\
 &= (0,5 \times 7 \times 4,5 \text{ kN}) \times 12,5 \text{ m} - (4,5 \text{ kN} \times \\
 & \quad (12,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})) - (4,5 \text{ kN} \times (12,5 \text{ m} - 4,5 \text{ m})) - \\
 & \quad (4,5 \text{ kN} \times (12,5 \text{ m} - 8,5 \text{ m})) \\
 &= 88,869 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M qLL)

$$\begin{aligned}
 M_{qLL} &= (0,5 \times q_{LL} \times L) \times L_s - (0,5 \times q_{LL} \times (L_s^2)) \\
 &= (0,5 \times 20,01 \text{ kN} \times 25 \text{ m}) \times (12,5 \text{ m}) - (0,5 \times 20,01 \text{ kN/m} \times (\\
 & \quad 12,5 \text{ m})^2) \\
 &= 1563,71 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup merata (M pLL)

$$\begin{aligned}
 M_{pLL} &= P \text{ BGT} \times \frac{(L - L_s)}{L} \times L_s \\
 &= 147,42 \text{ kN} \times \frac{(25 \text{ m} - 12,5 \text{ m})}{25 \text{ m}} \times (12,5 \text{ m}) \\
 &= 921,38 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Momen , Jarak (L_s) = 12,5 meter

No.	Jenis Momen	M	Faktor Beban		Layan	Ultimt.
		kN.m	layan	Ultimt.	kN.m	kN.m
1.	M q DL	5105,23	1	1,3	5105,23	6636,801
2.	M p DL	88,869	1	1,3	88,869	115,54
3.	M q LL	1563,71	1	1,8	1563,71	2814,67
4.	M p LL	921,38	1	1,8	921,38	1658,49
TOTAL					7679,189	1122,551

Maka Mu total = 1122,551 kN.m

7.1.8 Perhitungan Penulangan Pada Girder Tepi

Rekapitulasi Kombinasi akibat beban mati dan beban hidup.

Bentang (m)	1/10 2,5 m	1/5 5 m	3/10 7,5 m	2/5 10 m	1/2 12,5 m
Mu (kN.m)	4039,07	7183,51	9427,44	10773,79	11225,51
Vu kN	1553,31	1308,54	1069,6	824,88	585,95

♦ Penulangan Girder pada 1/10 bentang

- Penulangan Lentur

Mu	=	4039,07	kN.m	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	400	Mpa	d'	=	50	mm
ø	=	0,8	Mpa	d	=	1750	mm

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3591,66}{0.8} = 5048,846 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{4489,57 \times 10^6}{800 \times 3062500} = 2,060 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.0325$$

$$= 0.024$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15,686$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,832}{400}} \right) \\ &= 0,00537 \end{aligned}$$

Cek nilai ρ

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,00537 < 0,0244 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,00537$

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00537 \times 800 \times 1750 \\ &= 7530,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan utama D - 32

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 1024 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} \\
 &= \frac{7530,31}{803,64} = 9,3657
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur 10 D32

➤ Kontrol Penampang

$$\begin{array}{ll}
 \text{As Perlu} & < & \text{As Pasang} \\
 7530,32 \text{ mm}^2 & < & 8038,4 \text{ mm}^2
 \end{array}$$

➤ Kontrol kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{8038,4 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 157,61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \times 30 \times 157,61 \times 800 \left(1750 - \frac{157,61}{2} \right) \\
 &= 5373484413 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{ll}
 M_n \text{ perlu} & < & M_n \text{ pasang} \\
 5048,85 \text{ kN.m} & < & 5373,48 \text{ kN.m} \quad \quad \mathbf{Ok}
 \end{array}$$

- Penulangan Geser

V_u	=	1553,31	kN.m	h	=	1800	mm
f_c'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
f_y	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
ϕ_v	=	0,6	Mpa	d	=	1750	mm

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 800 \times 1750 \\
 &= 1278019 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,7 \times 1278019 \text{ N} \\
 &= 894613,51 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{b_w \times d}{3} = \frac{800 \times 1750}{3} = 466666,7 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi geser

1.	V_u	<	$0,5 \times \phi \times V_c$		
	1553306,9	>	448306,755	NOT OK	
2.	$0,5 \times \phi \times V_c$	<	V_u	<	$\phi \times V_c$

$$448306,755 < 1553306,9 > 894613,5106 \quad \text{NOT OK}$$

$$\begin{array}{llll} 3. & \phi \times V_c & < & V_u & < & \phi \times (V_c + V_s \text{ min}) \\ & 894613,5106 & < & 1553306,9 & > & 1221280,177 \quad \text{NOT OK} \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} 4. & \phi \times (V_c + V_s \text{ min}) & < & V_u & < & \phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) \\ & 1221280,177 & < & 1553306,9 & < & 2683840,53 \quad \text{OK} \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} 5. & \phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) & < & V_u & < & \phi \times (V_c \times 2/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) \\ & 2683840,53 & > & 1553306,9 & < & 4473067,55 \quad \text{NOT OK} \end{array}$$

Didapat perhitungan diatas bahwa kondisi 4 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} \phi V_s \text{ perlu} &= V_u \text{ total} - \phi V_c \\ V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u \text{ total} - \phi V_c}{\phi} \\ V_s \text{ perlu} &= \frac{1553,31 \text{ kN} - 894,61 \text{ kN}}{0,7} = 940,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat jarak tulangan geser ialah $s \leq d/2 \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$.
Direnakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter $\phi 14 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\ &= 307,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang tulangan.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{1750 \text{ mm}}{2} = 875 \text{ mm}$$

$$875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(NOT OK)}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{940,99 \times 1000} \\ &= 137,41 \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

Untuk mempermudah pemasangan, maka direncanakan jarak sengkang 125 mm.

$$\begin{aligned} V_s \text{ pasang} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s \times 1000} \\ &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{100 \times 1000} \\ &= 1034,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{aligned} V_s \text{ terpasang} &< V_s \text{ perlu} \\ 1034,46 \text{ kN} &< 940,99 \text{ kN} \quad \textbf{Ok} \end{aligned}$$

Maka direncanakan tulangan sengkang \emptyset 14 – 125 mm

- Penulangan akibat Torsi

s	=	2300	mm	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
φv	=	0,60	Mpa	d	=	1750	mm

Ruas Kanan

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned}
 \text{mt BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times \left(\frac{1}{2} \times s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 5,951 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mtu BTR} &= 5,951 \text{ kN} \times 1.8 \\
 &= 10,712 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu BTR} &= 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2} \right) \\
 \text{Tu BTR} &= 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 \text{Tu BTR} &= 133,903 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu BTR} &= \text{Tu BTR} - (\text{mtu BTR} \times L_s) \\
 &= 133,903 \text{ kN.m} - (10,712 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\
 &= 107,12 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned}
 \text{mt BGT} &= (1 + 0,4) 0,5 \times q \text{ BGT} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= (1 + 0,4) 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 45,361 \text{ kN.m} \\
 \text{mtu BGT} &= 45,361 \text{ kN.m} \times 1.8 \\
 \text{mtu BGT} &= 81,65 \text{ kN.m} \\
 \text{Tu BGT A} &= \text{mtu BGT} \times ((L - L_s)/L) \\
 &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 2,5 \text{ m})/25 \text{ m})
 \end{aligned}$$

$$= 73,48 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu BGT B} &= \text{mtu BGT} \times (L_s) / L \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((2,5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 8,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Tu LL} = 73,48 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned} q_{\text{plat}} &= t_s \times (S_1 - b_w) \times W_c \\ &= 0,25 \text{ m} \times (2,726 - 0,8) \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 12,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned} q_{\text{asp}} &= t \times S_2 \times W_c \\ &= 0,07 \text{ m} \times 2,149 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\ &= 3,31 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mt aspal} &= 0,5 \times q_{\text{asp}} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\ &= 0,5 \times 3,31 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\ &= 2,188 \text{ kN.m / m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mtu aspal} &= 2,188 \text{ kN.m} \times 1,3 \\ &= 2,845 \text{ kN.m / m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu aspal} &= 2,845 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\ &= 35,56 \text{ kN.m / m} \end{aligned}$$

$$\text{Bid Tu aspal} = \text{Tu asp} - (\text{mtu asp} \times L_s)$$

$$\begin{aligned}
 &= 35,56 \text{ kN.m} - (3,31 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\
 &= 28,45 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mt pelat} &= 0,5 \times t_s \times W_c \text{ pelat} \times \left(\frac{s - bw}{2} \right) \times \left(\frac{1}{2} S \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 0,25 \text{ m} \times 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 0,75 \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 3,1 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mtu pelat} &= 3,1 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 4,03 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu pelat} &= 4,03 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 50,37 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu pelat} &= \text{Tu pelat} - (\text{mtu pelat} \times L_s) \\
 &= 50,37 \text{ kN.m} - (4,03 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\
 &= 40,29 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tu Total} &= \text{Tu BTR} + \text{Tu BGT} + \text{Tu aspal} + \text{Tu plat} \\
 &= 107,12 \text{ kN.m} + 73,48 \text{ kN.m} + 28,45 \text{ kN.m} \\
 &\quad + 40,29 \text{ kN.m} \\
 &= 249,35 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Ruas Kiri

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned}
 \text{mt BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times (S_3)^2 \\
 &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times (0,999 \text{ m})^2 \\
 &= 4,491 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mtu BTR} &= 4,491 \text{ kN} \times 1.8 \\
 &= 8,084 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$T_u \text{ BTR} = 8,084 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2}\right)$$

$$T_u \text{ BTR} = 8,084 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2}\right)$$

$$T_u \text{ BTR} = 101,05 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Bid } T_u \text{ BTR} &= T_u \text{ BTR} - (\text{mtu BTR} \times L_s) \\ &= 101,05 \text{ kN.m} - (8,084 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\ &= 80,838 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned} \text{mt BGT} &= (1 + 0,4) \times 0,5 \times q \text{ BGT} \times (S_3)^2 \\ &= (1 + 0,4) \times 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times (0,999 \text{ m})^2 \\ &= 34,23 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{mtu BGT} = 34,23 \text{ kN.m} \times 1.8$$

$$\text{mtu BGT} = 61,62 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} T_u \text{ BGT A} &= \text{mtu BGT} \times ((L - L_s)/L) \\ &= 61,62 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 2,5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 55,45 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_u \text{ BGT B} &= \text{mtu BGT} \times (L_s / L) \\ &= 61,62 \text{ kN.m} \times (2,5 \text{ m} / 25 \text{ m}) \\ &= 6,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$T_u \text{ LL} = 55,45 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned} q \text{ plat} &= t_s \times (S_1 - b_w) \times W_c \\ &= 0,25 \text{ m} \times (2,726 - 0,8) \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 12,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}
 q_{\text{asp}} &= t \times S_2 \times W_c \\
 &= 0,07 \text{ m} \times 2,149 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 3,31 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ aspal}} &= 0,5 \times q_{\text{asp}} \times (S_3)^2 \\
 &= 0,5 \times 3,31 \text{ kN/m} \times (0,999 \text{ m})^2 \\
 &= 1,651 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{tu \text{ aspal}} &= 1,651 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 2,147 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ aspal}} &= 2,147 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 26,84 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid } T_{u \text{ aspal}} &= T_{u \text{ asp}} - (m_{tu \text{ asp}} \times L_s) \\
 &= 26,84 \text{ kN.m} - (2,147 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\
 &= 21,468 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{t \text{ pelat}} &= 0,5 \times t_s \times W_c \text{ pelat} \times L \text{ kantilever} \times (S_4)^2 \\
 &= 0,5 \times 0,25 \text{ m} \times 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 1,176 \text{ m} \times (1,576 \text{ m})^2 \\
 &= 9,128 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tu \text{ pelat}} &= 9,128 \text{ kN.m} \times 1,3 \\
 &= 11,866 \text{ kN.m / m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ pelat}} &= 11,866 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 148,32 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid } T_{u \text{ pelat}} &= T_{u \text{ pelat}} - (m_{tu \text{ pelat}} \times L_s) \\
 &= 148,32 \text{ kN.m} - (11,866 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m}) \\
 &= 118,662 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan torsi akibat Parapet

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$q_{\text{prpt}} = \text{Luas Parapet} \times W_c$$

$$= 0,56 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$= 14 \text{ kN/m}$$

$$mt \text{ parapet} = q \text{ parapet} \times L \text{ kantilever}$$

$$= 14 \text{ kN/m} \times 1,176 \text{ m}$$

$$= 16,46 \text{ kN}$$

$$mtu \text{ parapet} = 16,46 \text{ kN} \times 1,3$$

$$= 21,403 \text{ kN}$$

$$Tu \text{ parapet} = 21,403 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$= 267,54 \text{ kN.m}$$

$$Bid \text{ Tu parapet} = Tu \text{ asp} - (mtu \text{ asp} \times L_s)$$

$$= 267,54 \text{ kN.m} - (21,403 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m})$$

$$= 214,032 \text{ kN.m}$$

$$Tu \text{ Total} = Tu \text{ BTR} + Tu \text{ BGT} + Tu \text{ aspal} + Tu \text{ plat} +$$

$$Tu \text{ parapet}$$

$$= 80,838 \text{ kN.m} + 55,45 \text{ N.m} + 21,468 \text{ kN.m}$$

$$+ 118,662 \text{ kN.m} + 214,032 \text{ kN.m}$$

$$= 490,45 \text{ kN.m}$$

$$Tu \text{ Total} = Tu \text{ total kiri} - Tu \text{ total kanan}$$

$$= 490,45 \text{ kN.m} - 249,35 \text{ kN.m}$$

$$= 241,103 \text{ kN.m}$$

$$A_{cp} = h \times b$$

$$= 1800 \times 800$$

$$= 1440000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (h + b)$$

$$= 2 \times (1800 + 800)$$

$$= 5200 \text{ mm}$$

Cek syarat tulangan torsi

Perhitungan batasan nilai momen torsi yang diabaikan.

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{12} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\ &= 122,79 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Perhitungan batas atas nilai torsi

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{3} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\ &= 491,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol T_u ,

$$\begin{array}{ccccc} T_u \text{ min} & < & T_u & < & T_u \text{ max} \\ 109,21 \text{ kN.m} & < & 241,103 \text{ kN.m} & < & 436,83 \text{ kN.m} \end{array}$$

Maka, momen torsi yang diperhitungkan adalah

$$T_u = 241,103 \text{ kN.m}$$

Momen tahanan torsi yang diperlukan (T_n) :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{241,103}{0,7} = 344,43 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi)) \times (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi)) \\ &= (800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \times (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \\ &= 1156596 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_o = \phi \times A_{oh}$$

$$= 0,85 \times 1156596 \text{ mm}^2 = 983106,6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} Ph &= 2 \times ((b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi)) + (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \phi))) \\ &= 2 \times ((800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) + (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14))) \\ &= 4744 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol dimensi penampang,

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + \frac{2 \times \sqrt{f_c}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1553306,89}{800 \times 1750}\right)^2 + \left(\frac{241103489 \times 4744}{1,7 \times 1158969^2}\right)^2} = 1,1095 \text{ Mpa}$$

$$0,85 \left(\frac{1278019,301}{800 \times 1750} + \frac{2 \times \sqrt{30}}{3}\right) = 3,195 \text{ Mpa}$$

Kontrol,

$$1,1095 \text{ Mpa} \leq 3,195 \text{ Mpa}$$

maka kuat lentur penampang mencukupi.

Kebutuhan tulangan torsi.

Nilai θ ditetapkan 45° karena merupakan komponen struktur non-pratekan.

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{344433556}{2 \times 983106,06 \times 400 \times 1} \end{aligned}$$

$$= 0,4379 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d} = \frac{9409905,5}{400 \times 1750} = 1,34 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 0,87 + 1,34 = 2,22 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

Dengan tulangan sengkang $\emptyset 14$, maka luasan 2 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\ &= 307,87 \text{ mm}^2 / \text{dua kaki} \end{aligned}$$

$$S = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{307,87}{2,22} = 138,68 \text{ mm}$$

Maka untuk mempermudah pemasangan, dipasang $\emptyset 14 - 125 \text{ mm}$

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal.

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,4379 \times 4744 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1 \\ &= 2077,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\frac{1}{4} A_l \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{519,39 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 10,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu akibat torsi} &= 0,8 \times \frac{1}{4} A_l \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 519,39 \times 400 \left(1750 - \frac{10,18}{2} \right) \\
 &= 290,01 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu total akibat torsi} &= \text{Mu total} + \text{Mu akibat torsi} \\
 &= 4039,07 \text{ kN.m} + 290,01 \text{ kN.m} \\
 &= 4329,09 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Dalam pemasangan tulangan torsi longitudinal (A_l) disebar ;
 $\frac{1}{4}$ A_l dipasang di sisi atas, $\frac{1}{4}$ A_l dipasang di sisi bawah, dan $\frac{1}{2}$ A_l dibagian badan penampang.

- Tulangan bagian atas ; digunakan 4 D19

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1133,54 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 22,226 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu pasang} &= 0,8 \times A_s \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 1133,54 \times 400 \left(1750 - \frac{22,226}{2} \right) \\
 &= 630,75 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Mu pasang} & > \quad \text{Mu akibat torsi} \\
 630,75 \text{ kN.mm} & > \quad 290,01 \text{ kN.m} \quad \quad \quad \textbf{(OK)}
 \end{array}$$

- Tulangan bagian badan ; digunakan 4 D32

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{3215,36 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 63,04 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu pasang} &= 0,8 \times \text{As pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 3215,36 \times 400 \left(1750 - \frac{63,04}{2} \right) \\ &= 1768,2 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 1768,2 \text{ kN.mm} & > & 578,33 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

- Tulangan bagian bawah ; digunakan 11 D32

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{8842 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 173,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu pasang} &= 0,8 \times \text{As pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 8842 \times 400 \left(1750 - \frac{173,37}{2} \right) \\ &= 4706,36 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{Mu pasang} & > & \text{Mu akibat torsi} \\ 4706,36 \text{ N.mm} & > & 432,909 \text{ kN.m} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

♦ **Penulangan Girder pada 2/5 bentang**

- Penulangan Lentur

Mu	=	7183,51	kN.m	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	400	Mpa	d'	=	50	mm
ø	=	0,8	Mpa	d	=	1750	mm

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{7183,51}{0,8} = 8979,38 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{8979,38 \times 10^6}{800 \times 3062500} = 3,665 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.0325$$

$$= 0.024$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15,686$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,832}{400}} \right) \\ &= 0,0099 \end{aligned}$$

Cek nilai ρ

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0099 < 0,0244$$

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,0099$

Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0099 \times 800 \times 1750$$

$$= 13911,963 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan utama D - 32

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times \pi \times D^2 \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times 1024 \\
 &= 803,84 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{13911,96}{803,64} = 17,31
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur 18 D32

➤ Kontrol Penampang

$$\begin{array}{ll}
 A_s \text{ Perlu} < A_s \text{ Pasang} \\
 13911,963 \text{ mm}^2 < 14469,12 \text{ mm}^2
 \end{array}$$

➤ Kontrol kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{14469,12 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 283,71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \times 30 \times 283,71 \times 800 \left(1750 - \frac{283,71}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 9307382300 \text{ N.mm}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{lll} \text{Mn perlu} & < & \text{Mn pasang} \\ 8979,3831 \text{ kN.m} & < & 9307,3823 \text{ kN.m} \end{array}$$

Ok

- Penulangan Geser

$$\begin{array}{llll} \mathbf{Vu} & = & \mathbf{1308,5} & \mathbf{kN.m} & \mathbf{h} & = & \mathbf{1800} & \mathbf{mm} \\ \mathbf{fc'} & = & \mathbf{30} & \mathbf{Mpa} & \mathbf{b} & = & \mathbf{800} & \mathbf{mm} \\ \mathbf{fy} & = & \mathbf{240} & \mathbf{Mpa} & \mathbf{d'} & = & \mathbf{50} & \mathbf{mm} \\ \mathbf{\phi v} & = & \mathbf{0,6} & \mathbf{Mpa} & \mathbf{d} & = & \mathbf{1750} & \mathbf{mm} \end{array}$$

$$\begin{aligned} Vc &= \frac{1}{6} \times \sqrt{fc'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 800 \times 1750 \\ &= 1278019 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Vc &= 0,7 \times 1278019 \text{ N} \\ &= 894613,51 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Vs \text{ min} = \frac{bw \times d}{3} = \frac{800 \times 1750}{3} = 466666,7 \text{ N}$$

➤ **Cek kondisi geser**

1.	Vu	<	0,5 x ϕ x Vc	
	1308543,4	>	448306,755	NOT OK

- | | | | | | | |
|----|--|---|--------------------|---|--|---------------|
| 2. | $0,5 \times \phi \times V_c$
448306,755 | < | V_u
1308543,4 | < | $\phi \times V_c$
894613,5106 | NOT OK |
| 3. | $\phi \times V_c$
894613,5106 | < | V_u
1308543,4 | < | $\phi \times (V_c + V_s \text{ min})$
1221280,177 | NOT OK |
| 4. | $\phi \times (V_c + V_s \text{ min})$
1221280,177 | < | V_u
1308543,4 | < | $\phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$
2683840,53 | OK |
| 5. | $\phi \times (V_c \times 1/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$
2683840,53 | < | V_u
1308543,4 | < | $\phi \times (V_c \times 2/3 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$
4473067,55 | NOT OK |

Didapat perhitungan diatas bahwa kondisi 4 memenuhi syarat
maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} \phi V_s \text{ perlu} &= V_u \text{ total} - \phi V_c \\ V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u \text{ total} - \phi V_c}{\phi} \\ V_s \text{ perlu} &= \frac{1308,54 \text{ kN} - 894,61 \text{ kN}}{0,7} = 591,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat jarak tulangan geser ialah $s \leq d/2 \leq s_{\max} = 600 \text{ mm}$.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter $\phi 14 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\ &= 307,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang tulangan.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{1750 \text{ mm}}{2} = 875 \text{ mm}$$

$$875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(NOT OK)}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{591,32 \times 1000} \\ &= 218,67 \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

Untuk mempermudah pemasangan, maka direncanakan jarak sengkang 200 mm.

$$\begin{aligned} V_s \text{ pasang} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s \times 1000} \\ &= \frac{307,87 \times 240 \times 1750}{200 \times 1000} \\ &= 646,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{lll} V_s \text{ terpasang} & < & V_s \text{ perlu} \\ 646,53 \text{ kN} & < & 591,32 \text{ kN} \quad \textbf{Ok} \end{array}$$

Maka direncanakan tulangan sengkang ϕ 14 – 125 mm

- Penulangan akibat Torsi

s	=	2300	mm	h	=	1800	mm
fc'	=	30	Mpa	b	=	800	mm
fy	=	240	Mpa	d'	=	50	mm
φv	=	0,60	Mpa	d	=	1750	mm

Ruas Kanan

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned}
 \text{mt BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times \left(\frac{1}{2} \times s \right)^2 \\
 &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 5,951 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mtu BTR} &= 5,951 \text{ kN} \times 1.8 \\
 &= 10,712 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 10,712 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$\text{Tu BTR} = 133,903 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bid Tu BTR} &= \text{Tu BTR} - (\text{mtu BTR} \times Ls) \\
 &= 133,903 \text{ kN.m} - (10,712 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\
 &= 80,34 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned}
 \text{mt BGT} &= (1 + 0,4) 0,5 \times q \text{ BGT} \times \left(\frac{1}{2} s \right)^2 \\
 &= (1 + 0,4) 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m} \right)^2 \\
 &= 45,361 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\text{mtu BGT} = 45,361 \text{ kN.m} \times 1.8$$

$$\text{mtu BGT} = 81,65 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}\text{Tu BGT A} &= \text{mtu BGT} \times ((L - L_s)/L) \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 65,321 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tu BGT B} &= \text{mtu BGT} \times (L_s / L) \\ &= 81,65 \text{ kN.m} \times (5 \text{ m} / 25 \text{ m}) \\ &= 16,33 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\text{Tu LL} = 65,321 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned}q \text{ plat} &= t_s \times (S_1 - b_w) \times W_c \\ &= 0,25 \text{ m} \times (2,726 - 0,8) \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 12,04 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}q \text{ asp} &= t \times S_2 \times W_c \\ &= 0,07 \text{ m} \times 2,149 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\ &= 3,31 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mt aspal} &= 0,5 \times q \text{ asp} \times \left(\frac{1}{2} s\right)^2 \\ &= 0,5 \times 3,31 \text{ kN/m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m}\right)^2 \\ &= 2,188 \text{ kN.m} / \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mtu aspal} &= 2,188 \text{ kN.m} \times 1,3 \\ &= 2,845 \text{ kN.m} / \text{m}\end{aligned}$$

$$\text{Tu aspal} = 2,845 \text{ kN.m} / \text{m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2}\right)$$

$$= 35,56 \text{ kN.m / m}$$

$$\begin{aligned}\text{Bid Tu aspal} &= \text{Tu asp} - (\text{mtu asp} \times \text{Ls}) \\ &= 35,56 \text{ kN.m} - (3,31 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\ &= 21,34 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mt pelat} &= 0,5 \times t_s \times W_c \text{ pelat} \times \left(\frac{s - bw}{2}\right) \times \left(\frac{1}{2} s\right)^2 \\ &= 0,5 \times 0,25 \text{ m} \times 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 0,75 \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 2,3 \text{ m}\right)^2 \\ &= 3,1 \text{ kN.m / m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mtu pelat} &= 3,1 \text{ kN.m} \times 1,3 \\ &= 4,03 \text{ kN.m / m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tu pelat} &= 4,03 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2}\right) \\ &= 50,37 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bid Tu pelat} &= \text{Tu pelat} - (\text{mtu pelat} \times \text{Ls}) \\ &= 50,37 \text{ kN.m} - (4,03 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\ &= 30,0221 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\text{Tu Total Ruas kanan} = 197,22 \text{ kN.m}$$

Ruas Kiri

a. Perhitungan torsi akibat BTR

$$\begin{aligned}\text{mt BTR} &= 0,5 \times q \text{ BTR} \times (S_3)^2 \\ &= 0,5 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times (0,999 \text{ m})^2 \\ &= 4,491 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mtu BTR} &= 4,491 \text{ kN} \times 1,8 \\ &= 8,084 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Tu BTR} = 8,084 \text{ kN} \times \left(\frac{L}{2}\right)$$

$$Tu_{BTR} = 8,084 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$Tu_{BTR} = 101,05 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Bid } Tu_{BTR} &= Tu_{BTR} - (mtu_{BTR} \times L_s) \\ &= 101,05 \text{ kN.m} - (8,084 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\ &= 80,838 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan torsi akibat BGT

$$\begin{aligned} mt_{BGT} &= (1 + 0,4) \times 0,5 \times q_{BGT} \times (S_3)^2 \\ &= (1 + 0,4) \times 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times (0,999 \text{ m})^2 \\ &= 34,23 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$mtu_{BGT} = 34,23 \text{ kN.m} \times 1.8$$

$$mtu_{BGT} = 61,62 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} Tu_{BGT A} &= mtu_{BGT} \times ((L - L_s)/L) \\ &= 61,62 \text{ kN.m} \times ((25 \text{ m} - 5 \text{ m}) / 25 \text{ m}) \\ &= 49,29 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu_{BGT B} &= mtu_{BGT} \times (L_s / L) \\ &= 61,62 \text{ kN.m} \times (5 \text{ m} / 25 \text{ m}) \\ &= 12,32 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$Tu_{LL} = 49,29 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan torsi akibat berat sendiri per meter

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned} q_{\text{plat}} &= ts \times (S_1 - bw) \times W_c \\ &= 0,25 \text{ m} \times (2,726 - 0,8) \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 12,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Aspal + Overlay

$$q_{\text{asp}} = t \times S_2 \times W_c$$

$$= 0,07 \text{ m} \times 2,149 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3$$

$$= 3,31 \text{ kN/m}$$

$$m_{t \text{ aspal}} = 0,5 \times q_{\text{asp}} \times (S_3)^2$$

$$= 0,5 \times 3,31 \text{ kN/m} \times (0,999 \text{ m})^2$$

$$= 1,651 \text{ kN.m / m}$$

$$m_{tu \text{ aspal}} = 1,651 \text{ kN.m} \times 1,3$$

$$= 2,147 \text{ kN.m / m}$$

$$T_{u \text{ aspal}} = 2,147 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$= 26,84 \text{ kN.m}$$

$$B_{id} T_{u \text{ aspal}} = T_{u \text{ asp}} - (m_{tu \text{ asp}} \times L_s)$$

$$= 26,84 \text{ kN.m} - (2,147 \text{ kN} \times 5 \text{ m})$$

$$= 16,101 \text{ kN.m}$$

$$m_{t \text{ pelat}} = 0,5 \times t_s \times W_c \text{ pelat} \times L \text{ kantilever} \times (S_4)^2$$

$$= 0,5 \times 0,25 \text{ m} \times 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 1,176 \text{ m} \times (1,576 \text{ m})^2$$

$$= 9,128 \text{ kN.m / m}$$

$$M_{tu \text{ pelat}} = 9,128 \text{ kN.m} \times 1,3$$

$$= 11,866 \text{ kN.m / m}$$

$$T_{u \text{ pelat}} = 11,866 \text{ kN.m / m} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right)$$

$$= 148,32 \text{ kN.m}$$

$$B_{id} T_{u \text{ pelat}} = T_{u \text{ pelat}} - (m_{tu \text{ pelat}} \times L_s)$$

$$= 148,32 \text{ kN.m} - (11,866 \text{ kN} \times 5 \text{ m})$$

$$= 88,997 \text{ kN.m}$$

d. Perhitungan torsi akibat Parapet

- Beban Plat Lantai Kendaraan

$$q_{\text{prpt}} = \text{Luas Parapet} \times W_c$$

$$= 0,56 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$= 14 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{mt parapet} &= q \text{ parapet} \times L \text{ kantilever} \\ &= 14 \text{ kN/m} \times 1,176 \text{ m} \\ &= 16,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mtu parapet} &= 16,46 \text{ kN} \times 1,3 \\ &= 21,403 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu parapet} &= 21,403 \text{ kN} \times \left(\frac{25 \text{ m}}{2} \right) \\ &= 267,54 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bid Tu parapet} &= \text{Tu asp} - (\text{mtu asp} \times L_s) \\ &= 267,54 \text{ kN.m} - (21,403 \text{ kN} \times 5 \text{ m}) \\ &= 160,52 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Tu Total ruas kiri} = 375,5 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tu Total} &= \text{Tu total kiri} - \text{Tu total kanan} \\ &= 375,5 \text{ kN.m} - 197,22 \text{ kN.m} \\ &= 178,323 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Acp} &= h \times b \\ &= 1800 \times 800 \\ &= 1440000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pcp} &= 2 \times (h + b) \\ &= 2 \times (1800 + 800) \\ &= 5200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

Perhitungan batasan nilai momen torsi yang diabaikan.

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{12} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 122,79 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas atas nilai torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,70 \times \sqrt{30}}{3} \times \left(\frac{1440000^2}{5200} \right) \\
 &= 491,16 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Kontrol T_u ,

$$\begin{array}{rclclcl}
 T_u \text{ min} & < & T_u & < & T_u \text{ max} \\
 109,21 \text{ kN.m} & < & 241,103 \text{ kN.m} & < & 436,83 \text{ kN.m}
 \end{array}$$

Maka, momen torsi yang diperhitungkan adalah

$$T_u = 241,103 \text{ kN.m}$$

Momen tahanan torsi yang diperlukan (T_n) :

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{241,103}{0,7} = 344,43 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \times (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) \\
 &= (800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \times (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) \\
 &= 1156596 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= \phi \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 1156596 \text{ mm}^2 = 983106,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times ((b - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset)) + (h - 2 \times (d' + \frac{1}{2} \emptyset))) \\
 &= 2 \times ((800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)) + (1800 - 2 \times (50 + \frac{1}{2} 14)))
 \end{aligned}$$

$$= 4744 \text{ mm}$$

Kontrol dimensi penampang,

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + \frac{2 \times \sqrt{f_c}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1553306,89}{800 \times 1750}\right)^2 + \left(\frac{241103489 \times 4744}{1,7 \times 1158969^2}\right)^2} = 1,1095 \text{ Mpa}$$

$$0,85 \left(\frac{1278019,301}{800 \times 1750} + \frac{2 \times \sqrt{30}}{3}\right) = 3,195 \text{ Mpa}$$

Kontrol,

$$1,1095 \text{ Mpa} \leq 3,195 \text{ Mpa}$$

maka kuat lentur penampang mencukupi.

Kebutuhan tulangan torsi.

Nilai θ ditetapkan 45° karena merupakan komponen struktur non-pratekan.

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{344433556}{2 \times 983106,06 \times 400 \times 1} \\ &= 0,4379 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser akibat Torsi,

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d} = \frac{9409905,5}{400 \times 1750} = 1,34 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 0,87 + 1,34 = 2,22 \text{ mm}^2 / \text{mm} / 2 \text{ kaki}$$

Dengan tulangan sengkang ϕ 14, maka luasan 2 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 196 \text{ mm}^2 \\ &= 307,87 \text{ mm}^2 / \text{dua kaki} \end{aligned}$$

$$S = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{307,87}{2,22} = 138,68 \text{ mm}$$

Maka untuk mempermudah pemasangan, dipasang ϕ 14 – 125 mm

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal.

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,4379 \times 4744 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1 \\ &= 2077,58 \text{ mm}^2 \\ a &= \frac{\frac{1}{4} A_l \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{519,39 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 10,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu akibat torsi} &= 0,8 \times \frac{1}{4} A_l \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 519,39 \times 400 \left(1750 - \frac{10,18}{2} \right) \\ &= 290,01 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu total akibat torsi} &= \text{Mu total} + \text{Mu akibat torsi} \\ &= 4039,07 \text{ kN.m} + 290,01 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$= 4329,09 \text{ kN.m}$$

Dalam pemasangan tulangan torsi longitudinal (Al) disebar ;
 $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi atas, $\frac{1}{4}$ Al dipasang di sisi bawah, dan $\frac{1}{2}$ Al
 dibagian badan penampang.

- Tulangan bagian atas ; digunakan 4 D19

$$\begin{aligned} a \quad &= \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1133,54 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 22,226 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu \text{ pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1133,54 \times 400 \left(1750 - \frac{22,226}{2} \right) \\ &= 630,75 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc} Mu \text{ pasang} & > & Mu \text{ akibat torsi} \\ 630,75 \text{ kN.mm} & > & 290,01 \text{ kN.m} \end{array} \quad \textbf{(OK)}$$

- Tulangan bagian badan ; digunakan 4 D32

$$\begin{aligned} a \quad &= \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{3215,36 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 63,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu \text{ pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 3215,36 \times 400 \left(1750 - \frac{63,04}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 1768,2 \text{ kN.mm}$$

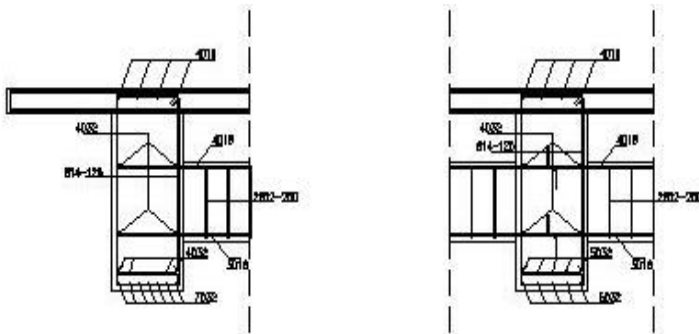
$$\begin{array}{ll} \text{Mu pasang} & > \quad \text{Mu akibat torsi} \\ 1768,2 \text{ kN.mm} & > \quad 578,33 \text{ kN.m} \quad \quad \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

- Tulangan bagian bawah ; digunakan 11 D32

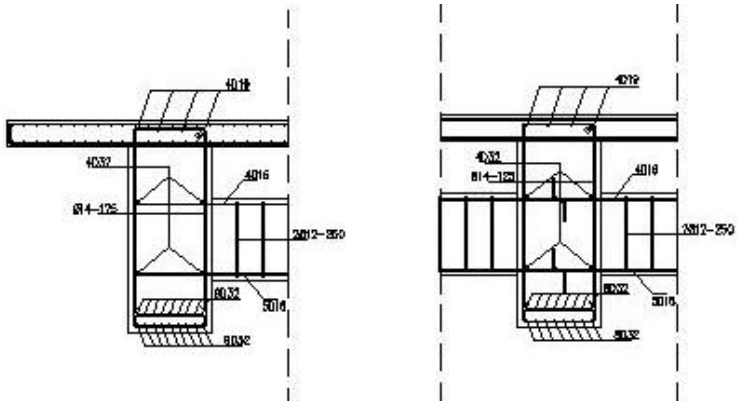
$$\begin{aligned} \text{a} \quad & \frac{As \text{ pasang} \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \\ & = \frac{8842 \times 400}{0,85 \times 30 \times 800} = 173,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu pasang} &= 0,8 \times As \text{ pasang} \times fy \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 8842 \times 400 \left(1750 - \frac{173,37}{2} \right) \\ &= 4706,36 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

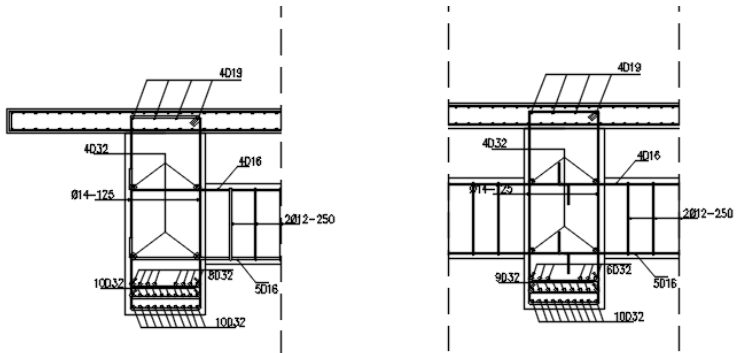
$$\begin{array}{ll} \text{Mu pasang} & > \quad \text{Mu akibat torsi} \\ 4706,36 \text{ N.mm} & > \quad 432,909 \text{ kN.m} \quad \quad \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$



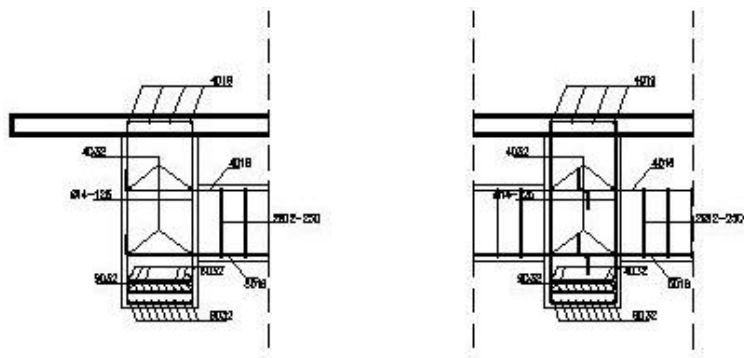
Gambar 7. 3 Penulangan Segmen 2,5 m



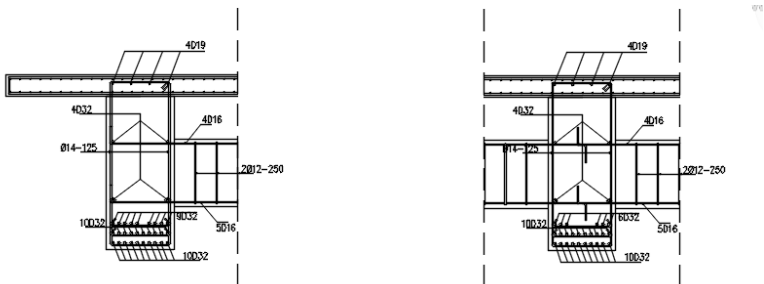
Gambar 7. 4 Penulangan Segmen 5 m



Gambar 7. 5 Penulangan Segmen 7,5 m



Gambar 7. 6 Penulangan Segmen 10 m



Gambar 7. 7 Penulangan Segmen 12,5 m

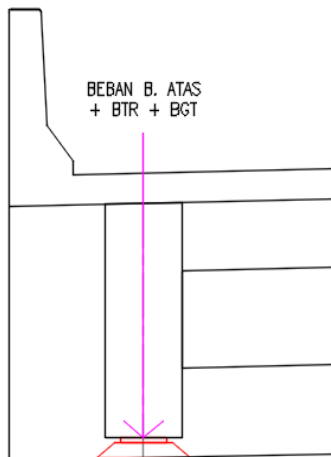
7.2 Perencanaan Manual Elastomer

7.2.1 Preliminary Design Perletakan

Perletakan yang akan digunakan sebagai perencanaan menggunakan perletakan jenis elastomer laminasi, dengan menggunakan karet IHRD dengan kekerasan 53 ± 5 , mempunyai sisi elastomer minimum sebesar 6 mm dan atas dan bawah sebesar 4 mm. mengacu pada BMS BDM 1992 pasal 7.2.1

7.2.2 Menentukan Beban dan Gerakan Terburuk

- Beban tegak lurus terhadap tumpuan
beban tegak lurus diambil gaya yang menumpu pelat kantilever dan parapet yang dianggap memiliki gaya yang paling kritis.



Gambar 7. 8 Beban tegak lurus terhadap perletakan

1. $\frac{1}{2}$ (Beban parapet 24 m)
 $v \text{ parapet} = 0,57 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 12 \text{ m}$
 $= 171 \text{ kN}$
2. $\frac{1}{2}$ (Beban plat lantai 1,05 m)
 $q \text{ plat} = 0,25 \text{ m} \times 1,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 12 \text{ m}$
 $= 78,75 \text{ kN}$
3. $\frac{1}{2}$ (Beban aspal pada plat lantai 1,05m)
 $q \text{ aspal} = 0,10 \text{ m} \times 1,05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 12 \text{ m}$
 $= 22,72 \text{ kN}$
4. $\frac{1}{2}$ (Beban genangan hujan pada plat lantai 1,05m)
 $q \text{ hujan} = 0,05 \text{ m} \times 1,05 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \times 12 \text{ m}$
 $= 6,3 \text{ kN}$
5. $\frac{1}{2}$ (Beban hidup lalu lintas)
 $v \text{ abt} = 104,16 \text{ kN}$
6. Beban akibat diafragma
 $q \text{ diag.} = 12 \times 0,26 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3$
 $= 76,68 \text{ kN}$
7. $\frac{1}{2}$ (Berat sendiri girder jembatan)
 $q \text{ girder} = 1,02 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 12 \text{ m}$
 $= 306 \text{ kN}$

Tabel 7. 1 Rekapitulasi beban vertikal perletakan

No.	Beban vertikal	Gaya (kN)
1.	1/2 (Beban parapet 25 m)	171.00
2.	1/2 (Beban plat lantai (1,58 m)	78.75
3.	1/2 (Beban aspal pada plat lantai (1,58 m)	27.72
4.	1/2 (Beban genangan hujan pada plat lantai (1,58 m)	6.30
5.	1/2 (Beban hidup lalu lintas)	104.16
6.	Beban akibat diafragma	76.68
7.	1/2 (Berat sendiri girder jembatan)	306.00
Total V. Elastomer'		770.61

- Beban tegak lurus terhadap tumpuan
 beban horizontal diambil gaya yang terbesar yang terjadi pada struktur atas yaitu :

1. Gaya rem
 $t_{rem} = 75 \text{ kN} / 6$
 $= 12,50 \text{ kN}$
2. Beban gempa akibat struktur bangunan atas
 $e_q = 1205,63 / 6$
 $= 200,93$

Tabel 7. 2 Rekapitulasi beban horizontal pada perletakan

No.	Beban vertikal	Gaya (kN)
1.	Gaya Rem	12.50
2.	Beban gempa akibat bangunan atas	200.94
Total H. Elastomer'		213.44

7.2.3 Tahap Perencanaan Dimensi Elastomer

Tabel 7. 3 Lampiran tabel spek elastomer

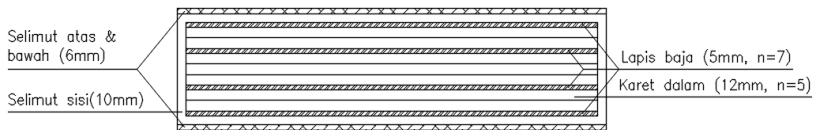
Ukuran denah 480 mm x 380 mm									
Tebal pelat baja 5		Tebal selimut sisi 10				Tebal selimut atas dan bawah 6			
Jumlah lapis karet dalam	Tinggi keseluruhan	Kekakuan tekan terhitung pada geser nol	Kekakuan geser rata-rata	Kekakuan perputaran terhitung	Kapasitas lendutan geser	Beban ternilai pada perputaran nol		Beban ternilai pada perputaran maksimum	
	mm	10^3 kN/m	10^3 kN/m	kNm/rad	mm	pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN	pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN
Tebal karet dalam 9									
4	73	1358	2.62	5371	33.6	2484	2484	1166	1562
6	101	1005	1.91	3967	42.5	2484	2484	1192	1578
8	129	798	1.50	3145	48.2	2484	2484	1223	1588
10	157	661	1.23	2605	51.3	2484	2484	1255	1594
Tebal karet dalam 12									
3	68	976	2.62	3620	33.6	2133	2484	1004	1353
5	102	641	1.75	2358	44.6	2129	2484	1012	1341
7	136	477	1.31	1748	50.6	2086	2404	1036	1336
10	187	344	0.95	1260	66.0	1428	1748	1018	1331
Tebal karet dalam 15									
3	77	593	2.21	2113	38.7	1702	2434	857	1157
5	117	376	1.45	1329	48.9	1726	2122	869	1136
7	157	275	1.08	969	58.5	1321	1578	868	1126
9	197	217	0.86	763	72.0	1005	1256	848	1120

Penentuan dimensi rencana elastomer sesuai dengan BMS BDM pasal 7.1.1 tabel 7.4 (g).

Sesuai dengan lampiran diatas, perencanaan dimensi elastomer menyesuaikan dengan jenis – jenis elastomer pada peraturan BMS BDM, maka direncanakan perletakan elastomer dengan dimensi 480 x 380 x 136.

Tabel 7. 4 Dimensi perletakan elastomer

Jumlah Lapis karet dalam	Tebal karet dalam	Tinggi Keseluruhan	Tebal selimut sisi	Tebal selimut atas &	Tebal Pelat baja
(n)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
7	12	136	10	6	5



Gambar 7. 9 Sketsa rencana elastomer

Tabel 7. 5 Data dan spesifikasi elastomer

No	Deskripsi besaran	Simbol	Nilai	Satuan
1	Kekerasan karet	IHRD	53	
2	Modulus Geser	G	0.69	Mpa
3	Modulus Total	B	2000	Mpa
4	Panjang Perletakan	a	480	mm
5	Lebar Perletakan	b	380	mm
6	Tebal Selimut	tc	10	mm
7	Tebal Lapis Dalam	ti	110	mm
8	T. lapis eff selimut	te	16	mm
9	T. lapis eff dalam	te	110	mm
10	Tebal pelat baja	ts	5	mm
11	Tebal total elastomer	t	136	mm
12	Jumlah lubang baut	N	-	-
13	Diameter lubang baut	D	-	-
14	Luas denah total karet	At	182400	mm ²
15	Luas denah permukaan	A	-	-

7.2.4 Kontrol Perletakan Elastomer

Sesuai dengan BMS BDM pasal 7.1.1 tabel 7.6 terdapat 9 tahap pemeriksaan pada perletakan elastomer.

1. Pemeriksaan tahap 1 (terhadap luas efektif minimum)

Data pemeriksaan tahap 1 :

δa = gerakan tangential arah dimensi memanjang (a)

δb = gerakan tangential arah dimensi melintang (b)

H = Gaya horizontal pada perletakan (kN)

A.eff = Luas efektif minimum

Menghitung gerakan tangential :

$$\delta a = \delta b = \frac{H \times t}{1000 \times A_t \times G}$$

$$\delta a = \delta b = \frac{213439,4 \times 136}{1000 \times 182400 \times 0,69}$$

$$= 0,23$$

Menghitung luas efektif minimum :

$$A_{eff} = A_t \times \left(1 - \frac{\delta a}{480} - \frac{\delta b}{380} \right)$$

$$A_{eff} = 182400 \times \left(1 - \frac{0,23}{480} - \frac{0,23}{380} \right)$$

Kontrol tahap 1 :

$$\frac{A_{eff}}{0,80 A_t} \geq 1,0$$

$$\frac{182423}{145920} \geq 1,0$$

$$1,25 \geq 1,0$$

Ok

Kontrol faktor bentuk : $4 \leq S \leq 12$

$$S = \frac{a \times b}{2 \times (a+b) \times t}$$

$$S = \frac{480 \times 380}{2 \times 860 \times 16}$$

$$= 6,63$$

Ok

2. Pemeriksaan tahap 2 (terhadap regangan total max)

$\alpha_a = \alpha_b$ = Perputaran relative dari permukaan atas dan bawah perletakan.

$$\alpha_a = \alpha_b = 0,035 \text{ radian}$$

$$\epsilon_{sr} = \frac{\alpha_a \times a^2 \times \alpha_b \times b^2}{2 \times t_i \times t}$$

$$\epsilon_{sr} = \frac{0,035 \times 230400 \times 0,035 \times 144400}{2 \times 110 \times 136}$$

$$\epsilon_{sr} = 0,438$$

$$\epsilon_{sc} = \frac{6 \times SV \times 10^3}{3 \times A_{eff} \times G \times (1 + 2S^2)}$$

$$\epsilon_{sc} = \frac{6 \times 5108 \times 10^3}{3 \times 182423,1 \times 0,69 \times 88,9}$$

$$\epsilon_{sc} = 0,91$$

$$\epsilon_{sh} = \frac{\delta s}{t} = \frac{0,46}{136} = 0,0034$$

$$\begin{aligned} \epsilon_T &= \epsilon_{sr} + \epsilon_{sc} + \epsilon_{sh} \\ &= 0,438 + 0,91 + 0,0034 \\ &= 1,36 \end{aligned}$$

Kontrol pemeriksaan terhadap regangan maksimum :

$$\epsilon_T \leq \frac{2,6}{\sqrt{G}}$$

$$\epsilon_T \leq \frac{2,6}{\sqrt{0,83}}$$

$$1,36 \leq 3,13$$

Ok

3. Pemeriksaan tahap 3 (terhadap regangan max)

Untuk nilai $A_{eff} > 0,9$ A, maka diambil data pemeriksaan sebagai berikut :

$$\epsilon_{sh \max} = 0,7$$

$$\epsilon_{sh} = 0,0034$$

Kontrol :

$$\frac{\epsilon_{sh \max}}{\epsilon_{sh}} \geq 1,0$$

$$\frac{0,7}{0,0034} \geq 1,0$$

$$206 \geq 1,0$$

Ok

4. Pemeriksaan tahap 4 (terhadap batas leleh)

Data perhitungan :

$$V = 770,61$$

$$V_{LL} = 104,16$$

$$\frac{1,4 \times V}{\epsilon_{sc} \times V_{LL}} \times \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1,0$$

$$\frac{1,4 \times 770,61}{0,91 \times 104,16} \times \sqrt{\frac{0,69}{0,69}} \geq 1,0$$

$$11,3409$$

$$\geq 1,01$$

Ok

5. Pemeriksaan tahap 5 (terhadap tegangan max rata – rata)

Kontrol :

$$\frac{15 \times At}{V} \geq 1,0$$

$$\frac{15 \times 182400}{770610} \geq 1,0$$

$$3,55 \geq 1,0$$

Ok

6. Pemeriksaan tahap 6 (terhadap putaran max)

$$E_h = A \times G \times 1 - \frac{1}{a/b + b/a}$$

$$E_h = 125856 \times 0,69 \times 1 - \frac{1}{1,3 + 1}$$

$$E_h = 125855,51$$

$$C = 4 + \frac{a}{b} \times 6 \frac{3,3 a}{b}$$

$$C = 4 + \frac{480}{380} \times 6 \frac{1584}{380}$$

$$C = 35,59$$

$$E = E_h + \frac{C \times G \times s^2}{1 + \frac{C \times G \times s^2}{0,75 \times B}}$$

$$E = E_h + \frac{35,6 \times 0,69 \times 44}{1 + \frac{35,6 \times 0,69 \times 44}{285}}$$

$$E = 125855,5 + 225$$

$$E = 126081$$

$$dc = te + \frac{V \times 10^3}{E \times A}$$

$$dc = 110 + \frac{770610}{126081 \times 182400}$$

$$dc = 0,0037$$

Kontrol :

$$\frac{aa \times a + ab \times b}{4 \times dc} \geq 1,0$$

$$\frac{16,8 + 13,3}{4 \times 0,00037} \geq 1,0$$

$$918,88 \geq 1,0$$

Ok

7. Pemeriksaan tahap 7 (terhada stabilitas tekan)

Kontrol :

$$\frac{2 \times b \times G \times S \times A \text{ eff}}{1000 \times V} \geq 1,0$$

$$\frac{760 \times 0,69 \times 6,6 \times 182423,06}{1000 \times 770,61} \geq 1,0$$

$$882,781 \geq 1,0$$

Ok

8. Pemeriksaan tahap 8 (tebal baja minimum)

Kontrol :

$$T_s = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{T_s}{3} \geq 1,0$$

$$1,67 \geq 1,0$$

$$\frac{T_s \times A \times f_{sy}}{3000 \times V \times t_i} \geq 1,0$$

$$\frac{5 \times 182400 \times 950}{3000 \times 770,61 \times 110i} \geq 1,0$$

$$3,4 \geq 1,0$$

Ok

9. Pemeriksaan tahap 9 (tahanan gesek terhadap geseran)

Kontrol :

$$\frac{0,1 \times V \times (3000 \times A \text{ eff})}{H} \geq 1,0$$

$$\frac{77061 \times 547269192,8}{213439,38} \geq 1,0$$

$$2564,41 \geq 1,0$$

Ok

Tabel 7. 6 Rekapitulasi pemeriksaan elastomer

No.	pemeriksaan	status
1	Pemeriksaan tahap 1 (Pemeriksaan terhadap luas efektif minimum)	memenuhi
2	Pemeriksaan tahap 2 (Pemeriksaan terhadap regangan total maksimum)	memenuhi
3	Pemeriksaan tahap 3 (Pemeriksaan terhadap regangan maksimum)	memenuhi
4	Pemeriksaan tahap 4 (Pemeriksaan batas leleh)	memenuhi
5	Pemeriksaan 5 (Pemeriksaan terhadap tegangan maksimum rata - rata)	memenuhi
6	Pemeriksaan 6 (Pemeriksaan terhadap perputaran maksimum)	memenuhi
7	Pemeriksaan 7 (Pemeriksaan terhadap stabilitas tekan)	memenuhi
8	Pemeriksaan 8 (Pemeriksaan tebal baja minimum)	memenuhi
9	Pemeriksaan 9 (Pemeriksaan tahanan gesek terhadap geseran)	memenuhi

DAFTAR PUSTAKA

Infrastructure, W. (2014). *Desain Struktur Pendekat Jembatan Brantas pada Jalan Tol Mojokerto - Kertosono*.

Mochtar, N. E., Mochtar, I. B., & Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1 dan Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

Sosrodarsono, I. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

SNI-03-2833-2013, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan

RSNI T-12-2004, Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan

RSNI T-02-2005, Pembebanan Jembatan

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RESUME KEBUTUHAN TULANGAN BALOK GIRDER (BENTANG TENGAH)

segment (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
segment ke	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PERAN MATA																	
Rva dan Rvb (ton)	54.430																54.430
Rwa dan Rwb (ton)	70.760																70.760
PERAN RUMAH																	
Ra (ton)	27.853	26.796	25.938	25.881	24.223	23.366	22.508	21.651	20.793	19.936	19.078	18.221	17.363	16.506	15.648	14.791	23.933
Rb (ton)	23.933	24.791	25.648	26.506	27.363	28.221	29.078	29.936	30.793	31.651	32.508	33.366	34.223	35.081	35.938	36.796	37.653
Ra u (ton)	67.775	66.232	64.688	63.145	61.601	60.058	58.514	56.971	55.427	53.884	52.340	50.797	49.253	47.710	46.166	44.623	43.079
Rb u (ton)	43.079	44.623	46.166	47.710	49.253	50.797	52.340	53.884	55.427	56.971	58.514	60.058	61.601	63.145	64.688	66.232	67.775
Va DL (ton)	70.760	61.164	52.600	44.156	35.693	28.057	17.353	9.050	0.546	-9.050	-17.353	-28.057	-35.693	-44.156	-52.600	-61.164	-70.760
Va LL (ton)	67.775	66.232	64.688	63.145	61.601	60.058	58.514	56.971	55.427	53.884	52.340	50.797	49.253	47.710	46.166	44.623	43.079
Va total (ton)	138.535	127.396	117.349	107.301	97.254	86.115	76.068	66.021	55.975	46.023	36.068	26.115	16.162	6.210	-3.843	-13.896	-23.950
FVc = 0.618 agt(0.7) total/10000 (ton)	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127	61.127
FVperku = Vtotal - FVc (ton)	77.408	66.268	56.221	46.174	36.127	26.080	16.033	6.000	4.899	4.899	14.940	24.988	35.035	45.082	55.129	65.176	75.223
Dipasang sengkang D 12	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205
FV sengkang = As fy d s / 10000 (ton)	89.196	74.330	63.711	49.553	37.165	26.026	16.033	7.165	3.165	3.165	17.165	32.165	47.165	62.165	77.165	92.165	107.165
Kontrol FV sengkang > Vperku	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Ma qDL (ton)	0.000	164.835	195.691	272.570	315.471	384.394	419.338	446.305	417.294	448.385	419.338	384.394	315.471	272.570	195.691	164.835	0.000
Ma PBL (ton)	0.000	2.692	5.077	10.770	16.770	24.421	34.221	46.021	59.821	75.621	93.421	113.221	135.021	158.821	184.621	212.421	242.221
Ma qLL (ton)	0.000	66.396	123.921	172.894	212.421	243.415	265.544	278.821	283.247	278.821	265.544	243.415	212.421	172.894	123.921	66.396	0.000
Ma LL (ton)	0.000	18.057	48.948	84.948	121.782	159.542	198.339	237.071	275.731	314.321	352.841	391.291	429.581	467.731	505.761	543.581	581.191
Ma total (ton)	0.000	211.898	368.636	552.199	689.673	797.354	881.159	940.156	900.352	933.226	948.162	933.226	900.352	881.159	848.336	811.198	769.191
Dipasang Tulangan memanjang bawah																	
D12 sengkang	2	5	10	14	18	22	24	24	26	24	24	22	18	14	10	5	2
As sengkang	1608.50	4021.24	3042.48	11259.47	14476.46	17699.45	18301.95	19101.85	20910.44	19301.85	19101.85	17699.45	14476.46	11259.47	3042.48	4021.24	1608.50
T = As fy / T (N)	643396.18	168395.44	321699.88	4503787.23	5794583.58	7077379.89	7720778.11	7720778.11	8364176.28	7720778.11	7720778.11	7077379.89	5794583.58	4503787.23	321699.88	168395.44	643396.18
a = T(0.85 f'c) / (2As) (mm)	43.43	108.27	217.14	385.99	477.30	590.89	631.13	661.13	724.56	661.13	661.13	590.89	477.30	385.99	217.14	108.27	43.43
Ma sengkang = 0.8 T(d-a/2)/187 (ton)	58.96	218.20	422.44	575.77	726.15	855.60	909.87	919.97	1002.10	919.97	919.97	855.60	726.15	575.77	422.44	218.20	58.96
Kontrol Ma sengkang > Ma perku	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PERHITUNGAN PENGARUH TORSI																	
Jalan ltr = 0.8 ton/m2																	
Jalan ltr = 0.8 ton/m2																	
Akibat BTR																	
akt ltr (ton/m)	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500
akt ltr (ton/m)	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100	0.8100
Tu ltr (ton)	10.6515	9.5201	7.8886	6.6772	5.3258	3.9943	2.6629	1.3314	0.0000	-1.3314	-2.6629	-3.9943	-5.3258	-6.6772	-7.8886	-9.5201	-10.6515
akt ltr (ton)	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500	2.4500
akt ltr (ton)	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740	6.1740
Tu ltr A (ton)	5.7881	5.4023	5.0164	4.6305	4.2446	3.8588	3.4729	3.0870	2.7011	2.3152	1.9293	1.5435	1.1576	0.7718	0.3859	0.0000	0.0000
Tu ltr B (ton)	0.0000	0.3859	0.7718	1.1576	1.5435	1.9293	2.3152	2.7011	3.0870	3.4729	3.8588	4.2446	4.6305	5.0164	5.4023	5.7881	6.1740
Tu ltr (ton)	0.1740	5.7881	5.4023	5.0164	4.6305	4.2446	3.8588	3.4729	3.0870	2.7011	2.3152	1.9293	1.5435	1.1576	0.7718	0.3859	0.0000
Tu total (ton)	16.826	15.108	13.391	11.674	9.956	8.239	6.522	4.804	3.087	1.370	0.000	1.370	3.087	4.804	6.522	8.239	9.956
Tu ltr	28.043	29.180	22.518	19.456	16.394	13.332	10.270	7.208	4.146	1.084	0.000	1.084	4.146	7.208	10.270	13.332	16.394
Tu Max (ton)	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688	31.688
Tu Min (ton)	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922	7.922
Kontrol Tu	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
catatan : pada tengah bentang torsi yang terjadi lebih kecil dari torsi minimum, maka dapat diabaikan																	
Kontrol pasang	1.1309	1.0460	0.9579	0.8759	0.7939	0.7119	0.6299	0.5479	0.4659	0.3839	0.3019	0.2199	0.1379	0.0559	0.0739	0.1379	0.2199
Tu q < Ts, Ts =	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804	2.3804
As (mm2/mm)	28.043	25.180	22.518	19.456	16.394	13.332	10.270	7.208	4.146	1.084	0.000	1.084	4.146	7.208	10.270	13.332	16.394
As (mm2/mm)	1.124	0.963	0.802	0.641	0.480	0.319	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
As (mm2/mm)	0.833	0.718	0.603	0.488	0.373	0.258	0.143	0.028	0.153	0.238	0.323	0.408	0.493	0.578	0.663	0.748	0.833
As (mm2/mm)	1.857	1.711	1.565	1.419	1.273	1.127	0.981	0.835	0.689	0.543	0.397	0.251	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000
Dipasang sengkang baru	D 12 jarak	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm
setelah ditambah akibat torsi																	
A1 (mm2)	1893.979	1799.688	1507.357	1314.046	1120.735	927.424	734.113	540.802	347.491	154.180	0.000	154.180	347.491	540.802	734.113	927.424	1120.735
A1' (mm2)	473.495	425.167	376.839	328.511	280.184	231.856	183.528	135.201	86.873	38.544	0.000	38.544	86.873	135.201	231.856	328.511	425.167
T = As fy / T (N)	189397.868	179966.775	150735.680	131404.586	112073.492	92742.397	73411.303	54080.209	34749.114	15418.010	0.000	15418.010	34749.114	54080.209	73411.303	92742.397	112073.492

[illegible]

[illegible]

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Difaa' Ul Haq. Dilahirkan di Malang, 8 Januari 1996, merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Siti Aminah Gunung Sari Indah Sidoarjo, MI Tarbiyatul Islamiyah Sukodono, SMP Negeri 1 Taman Sidoarjo, dan SMA Negeri 1 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMAN di tahun 2014, penulis mengikuti tes dan di terima di ITS Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2014 dan terdaftar

dengan NRP 3114 030 161.

Di jurusan Teknik Infrastruktur Sipil ini Penulis mengambil bidang studi Bangunan Transportasi. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh jurusan Himpunan Mahasiswa Teknik Infrastruktur Sipil dan aktif mengikuti beberapa lomba di berbagai Perguruan Tinggi, diantaranya : Lomba jembatan rangka baja di UMM Malang (KJI-10) dan di Univ. Kristen Maranatha Bandung (KJI-11), lomba jembatan busur rotan di Univ. Negeri Jember, lomba jembatan rangka balsa di Univ. Diponogoro Semarang dan di Politeknik Negeri Jakarta, lomba jembatan rangka galvalume di Politeknik Sriwijaya Palembang (KJI-12), dan lomba rancang perumahan di Univ. Jember. Penulis bisa dihubungi melalui email m.difaa@gmail.com

Dalam kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya, sehingga tugas akhir terapan ini dapat terselesaikan, walaupun selama penyelesaian tugas akhir terapan mengalami berbagai hambatan dan rintangan yang menghadang.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan do'a dan dukungan sepanjang perjalanan selama menempuh pendidikan Diploma, sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
3. Dosen Pembimbing bapak Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS dan Ir. Chomaedhi, CES. Geo selaku dosen pembimbing kami yang telah membimbing untuk dapat menyelesaikan tugas akhir terapan dengan sebaik-baiknya.
4. Seluruh dosen dan karyawan di kampus ITS Manyar yang telah memberikan pendidikan dan bimbingan serta memotivasi selama saya belajar di kampus ini.
5. Deni Maulana sebagai partner TA yang begitu sabar dan telaten. Dan juga telah bekerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
6. Teman-teman angkatan 2014 dan kelas bangunan Transportasi 2014 yang telah memberikan semangat, perhatian dan dukungan selama penyusunan tugas akhir terapan ini.
7. Teman-teman di luar kampus ITS yang telah memberikan semangat, motivasi dan do'a selama penyusunan tugas akhir terapan ini.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Deni Maulana. Dilahirkan di Surabaya, 5 September 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Islam Bakti Sidoarjo, SDN Sidokare 2 Sidoarjo, SMP Negeri 3 Sidoarjo, dan SMA Negeri 4 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMAN di tahun 2014, penulis mengikuti Tes Masuk Perguruan Tinggi dan diterima di Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil di Tahun 2014 dan terdaftar dengan

NRP 3114 030 162.

Di jurusan Teknik Infrastruktur Sipil ini Penulis mengambil Konsentrasi Bangunan Transportasi. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) dan aktif di beberapa Pelatihan Kepribadian Tingkat Pra Dasar (LKMM Pra-TD FTSP-ITS 2014) dan Pelatihan Kepribadian Tingkat Dasar (LKMM TD GANESHA 2014/2015). Penulis bisa dihubungi melalui email denimaulana9225@yahoo.co.id

Dalam kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya, sehingga tugas akhir terapan ini dapat terselesaikan, walaupun selama penyelesaian tugas akhir terapan mengalami berbagai hambatan dan rintangan yang menghadang.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan do'a dan dukungan sepanjang perjalanan selama menempuh pendidikan Diploma, sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
3. Dosen Pembimbing bapak Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS dan Ir. Chomaedhi, CES. Geo selaku dosen pembimbing kami yang telah membimbing untuk dapat menyelesaikan tugas akhir terapan dengan sebaik-baiknya.
4. Seluruh dosen dan karyawan di kampus ITS Manyar yang telah memberikan pendidikan dan bimbingan serta memotivasi selama saya belajar di kampus ini.
5. Muhammad Difaa' Ul Haq sebagai partner TA yang begitu sabar dan telaten. Dan juga telah bekerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
6. Teman-teman angkatan 2014 dan kelas bangunan Transportasi 2014 yang telah memberikan semangat, perhatian dan dukungan selama penyusunan tugas akhir terapan ini.
7. Teman-teman di luar kampus ITS yang telah memberikan semangat, motivasi dan do'a selama penyusunan tugas akhir terapan ini.



GAMBAR PERENCANAAN TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL SOLO-KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN

MUHAMMAD DIFAA' UL-HAQ
NRP. 3114 030 161

DENI MAULANA
NRP. 3114 030 162

DOSEN PEMBIMBING
Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS
NIP. 19600105198603 1 003

Ir. CHOMAEDI, CES., GEO
NIP. 19550319 198403 1 001

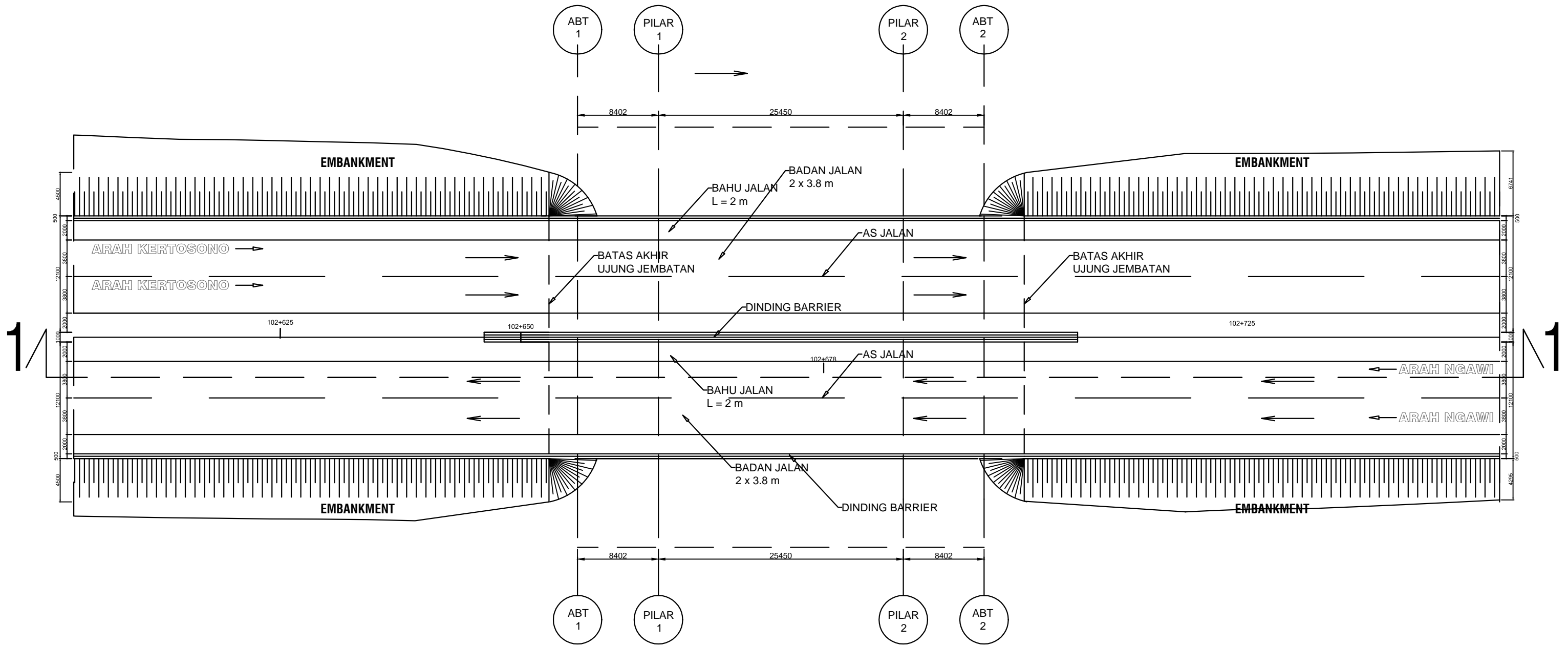
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

DAFTAR GAMBAR

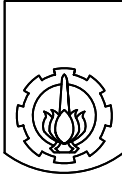
DENAH JEMBATAN	1
DENAH PONDASI	2
DETAIL POTONGAN SECANT PILE & BORED PILE	3
DETAIL POTONGAN BORED PILE (ABUTMENT)	4
DETAIL POTONGAN BORED PILE (PILAR)	5
PENULANGAN PILAR	6
PENULANGAN ABUTMENT	7
DENAH PEMBALOKAN (1/2)	8
DENAH PEMBALOKAN (2/2)	9
RENCANA PENULANGAN GIRDER TEPI	10
DETAIL POTONGAN GIRDER TEPI	11
RENCANA PENULANGAN GIRDER TENGAH	12
DETAIL POTONGAN GIRDER TENGAH	13
POTONGAN MEMANJANG PLAT LANTAI KENDARAAN	14
POTONGAN MELINTANG PLAT LANTAI KENDARAAN	15
DETAIL TULANGAN PONDASI	16
GAMBAR DETAIL BORED PILE Ø 1 m UNTUK PILAR	17
GAMBAR DETAIL BORED PILE UJUNG Ø 1.5 m UNTUK ABUTMENT	18
GAMBAR DETAIL BORED PILE & SECANT PILE Ø 0.6 m UNTUK ABUTMENT	19
GAMBAR DETAIL BORED PILE Ø 1.5 m UNTUK ABUTMENT	20
GAMBAR DETAIL SECANT PILE Ø 1 m UNTUK ABUTMENT	21
POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN (1/2)	22
POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN (2/2)	23
POTONGAN MELINTANG 1-1 ABUTMENT	24
POTONGAN MELINTANG 2-2 PILAR	25

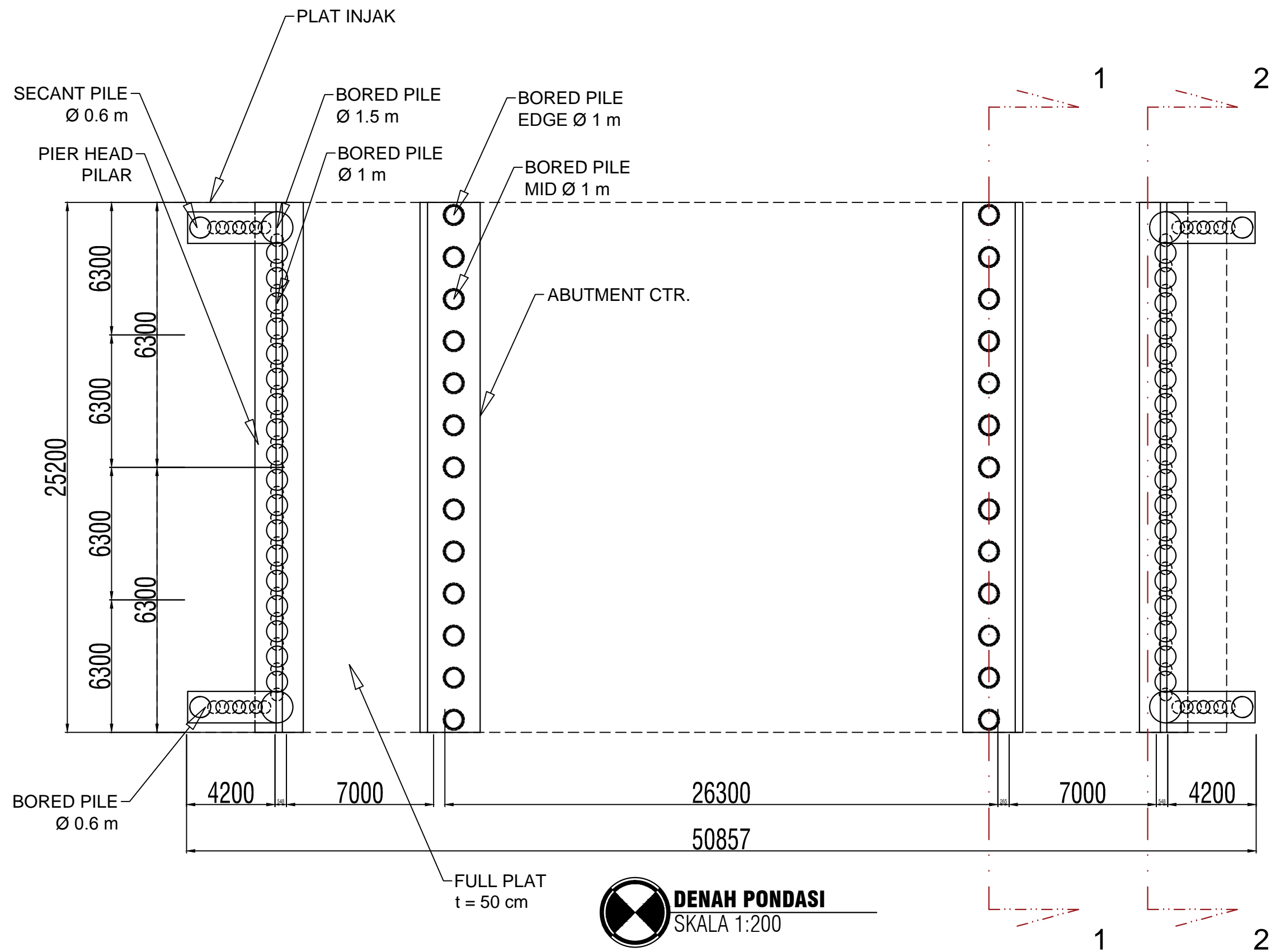
DAFTAR GAMBAR

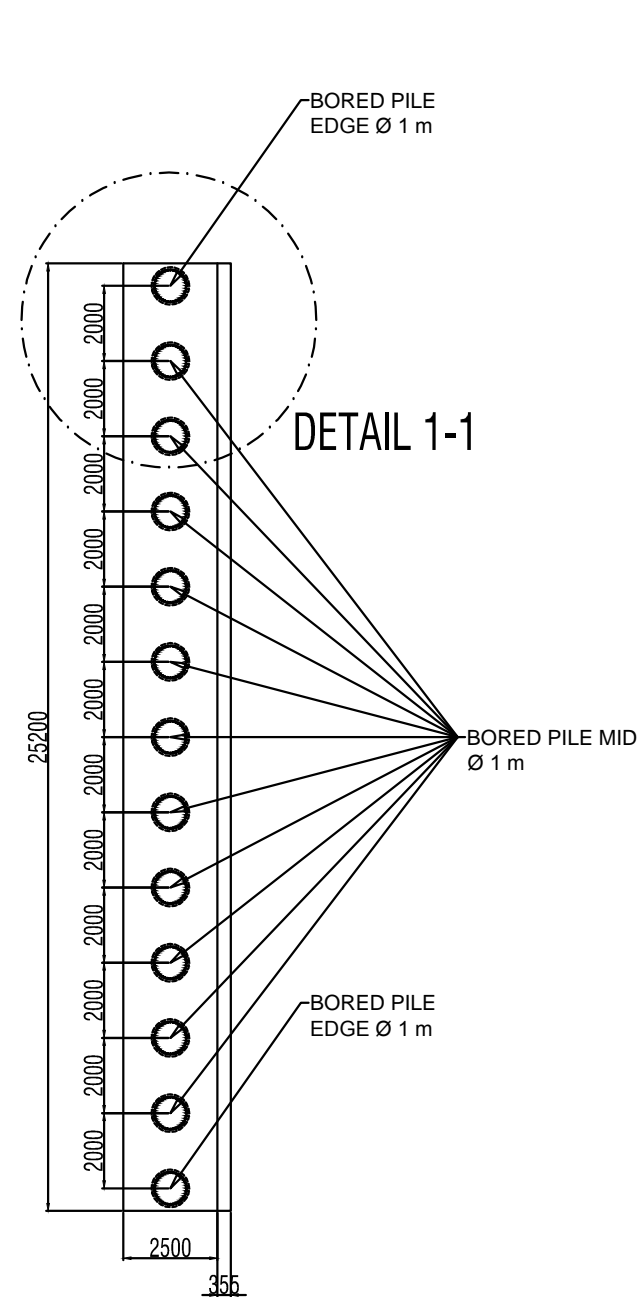
DETAIL PENULANGAN PLAT INJAK	26
POTONGAN BARRIER	27
DETAIL PENULANGAN BARRIER	28
POTONGAN CAPPING	29
DETAIL PENULANGAN CAPPING SECANT PILE-U 1-1	30
DETAIL PENULANGAN CAPPING SECANT PILE-U 2-2	31
DETAIL ELASTOMER	32
DETAIL DIAFRAGMA	33
PENULANGAN FULL PLAT	34



 **DENAH JEMBATAN**
SKALA 1:100

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Nama Mahasiswa	No.	Ket
	MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN	DENAH JEMBATAN	1:400	Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS 19600105198603 1 003	Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO 19550319198403 1 001	MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ 3114030161 DENI MAULANA 3114030162	1	



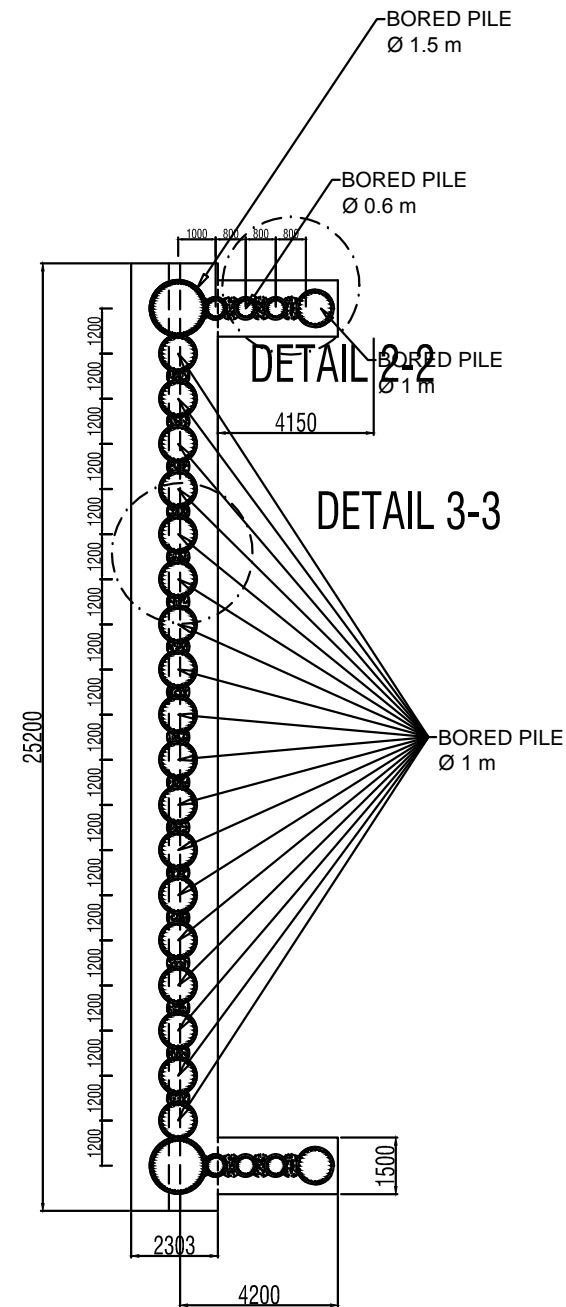


DETAIL 1-1



POTONGAN 1-1 BORED PILE PILAR

SKALA 1:200

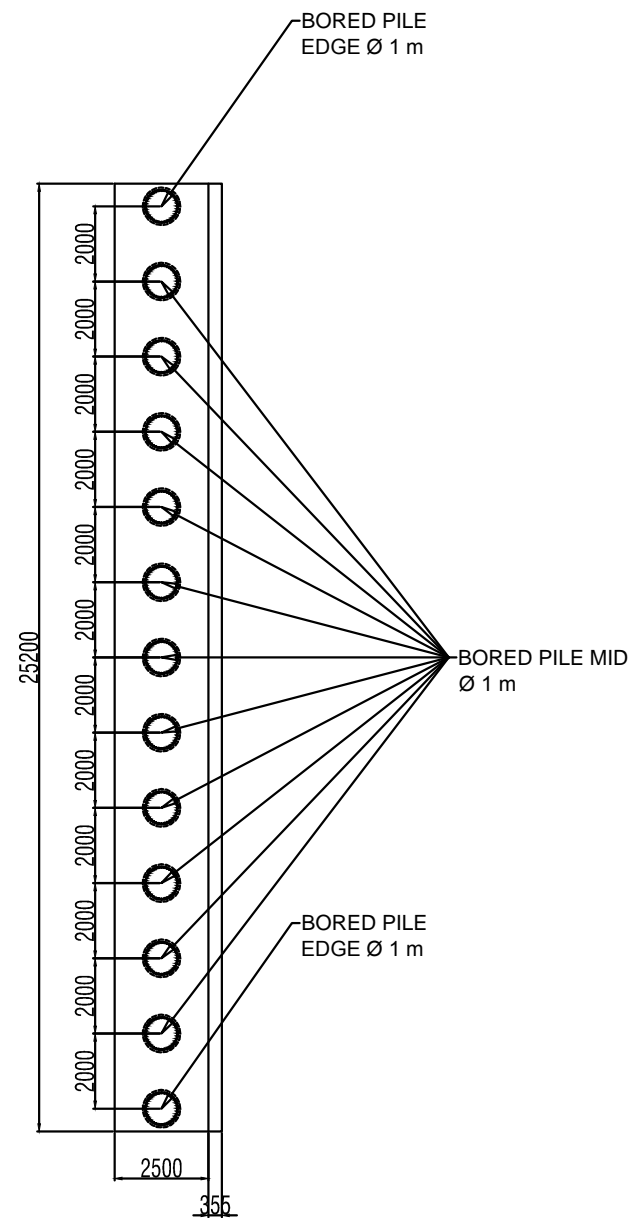


DETAIL 2-2

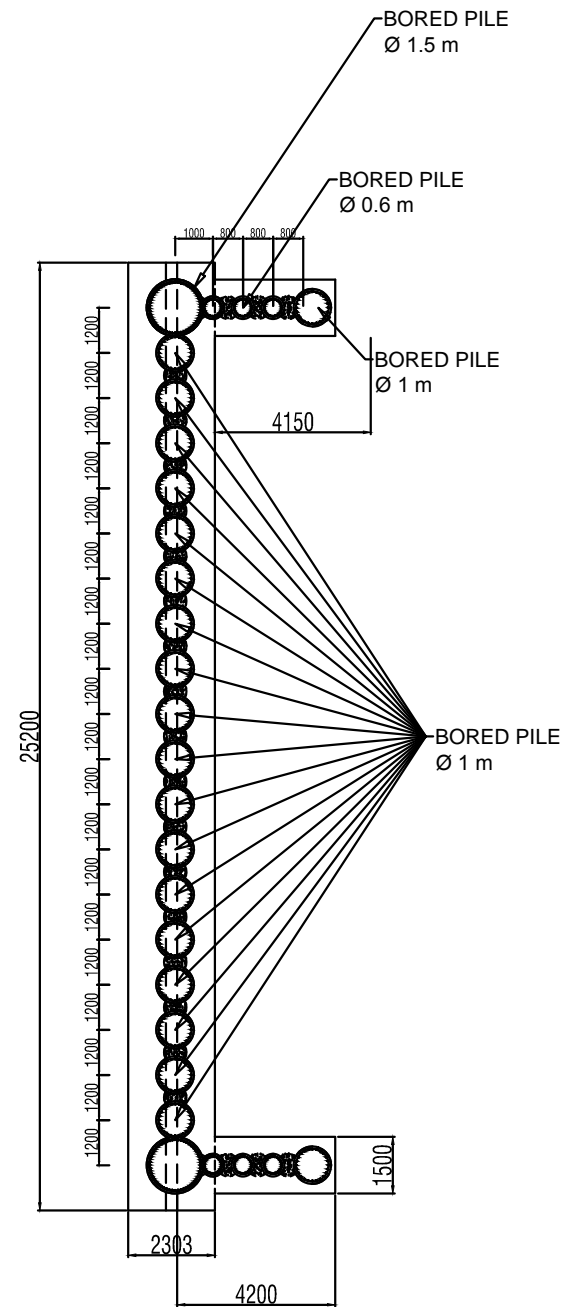


POTONGAN 2-2 BORED PILE ABUTMENT

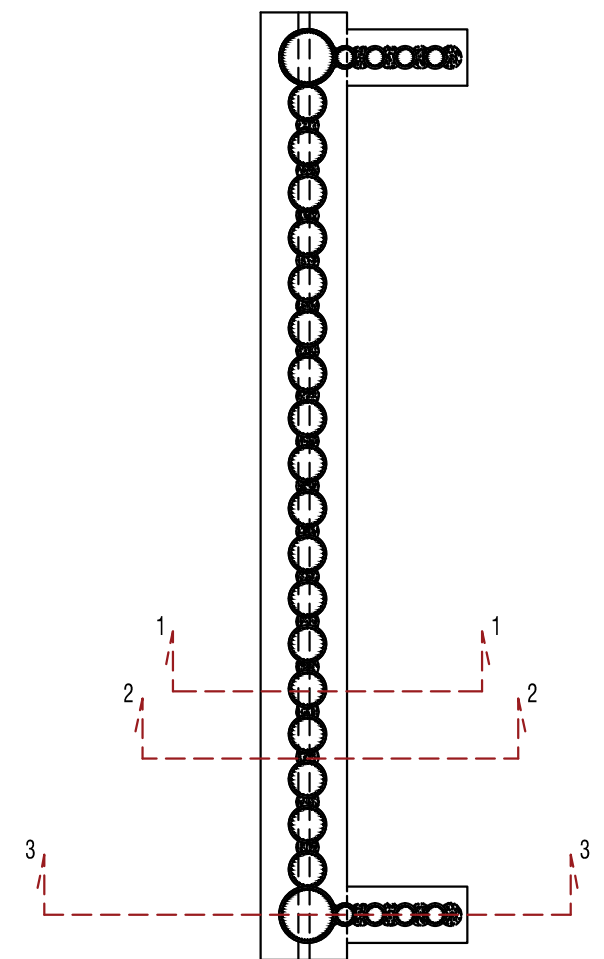
SKALA 1:200



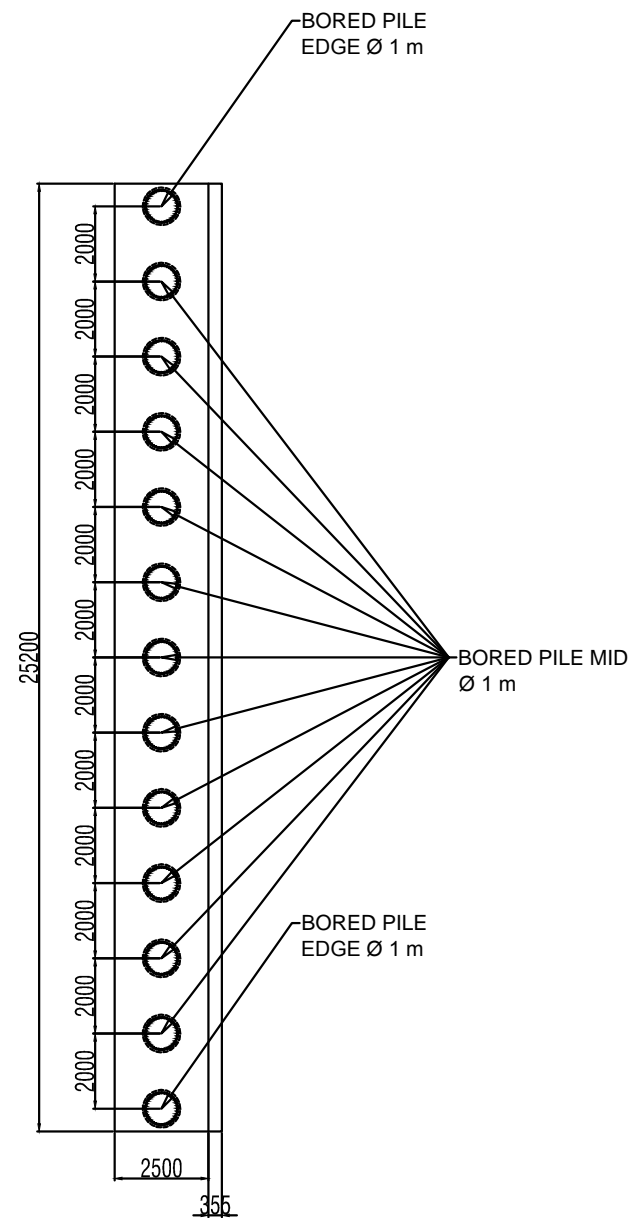
DETAIL 1-1



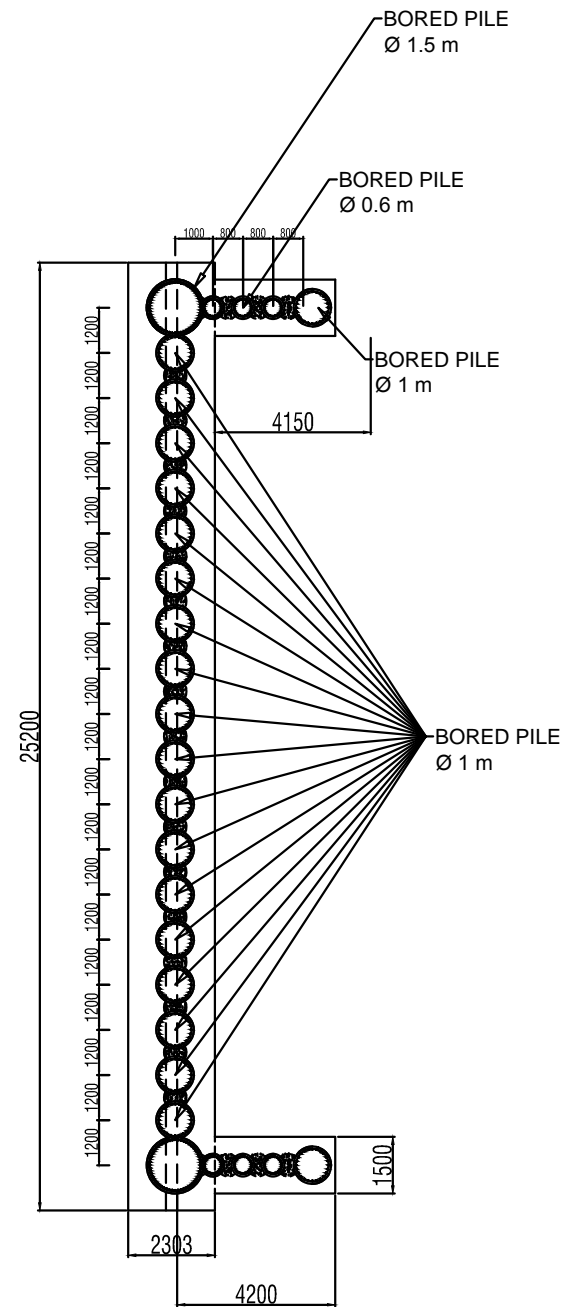
DETAIL 2-2



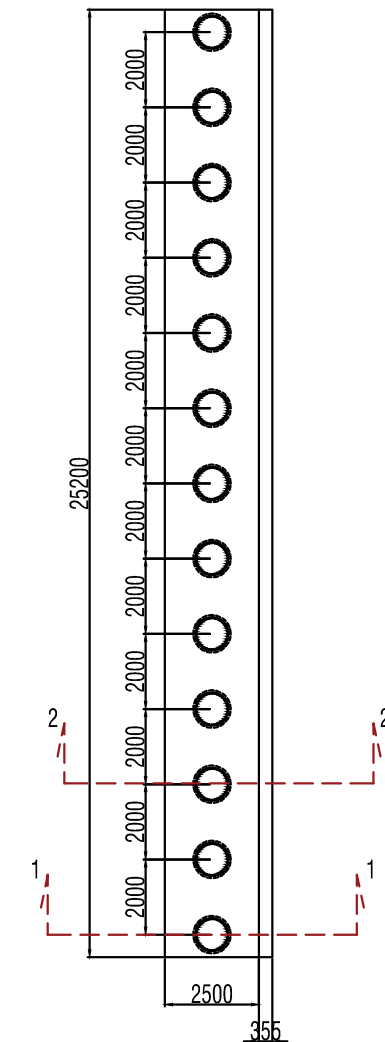
POTONGAN BORED PILE ABUTMENT
SKALA 1:200



DETAIL 1-1

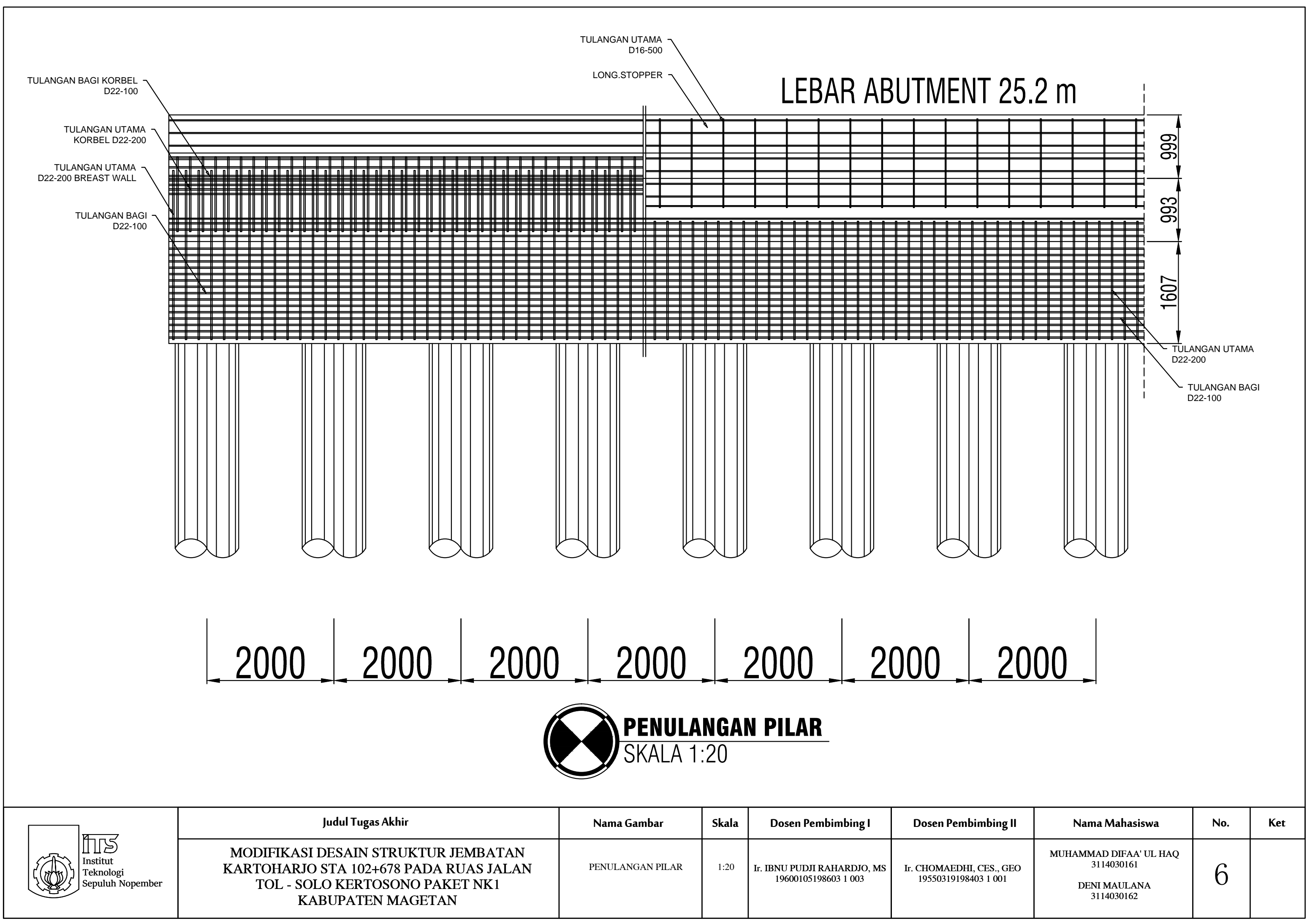


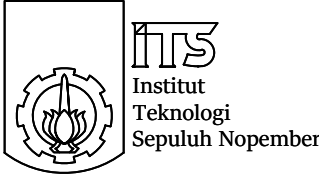
DETAIL 2-2

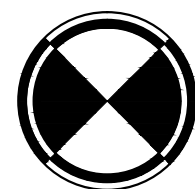
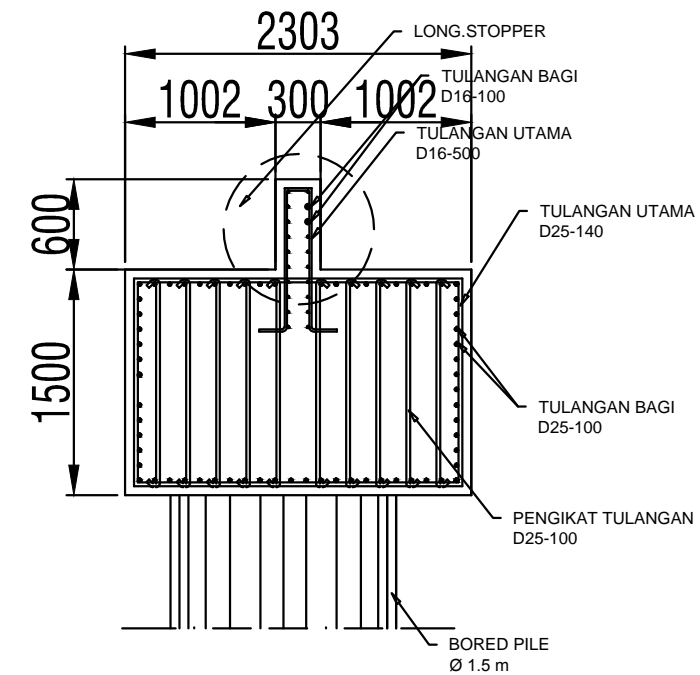
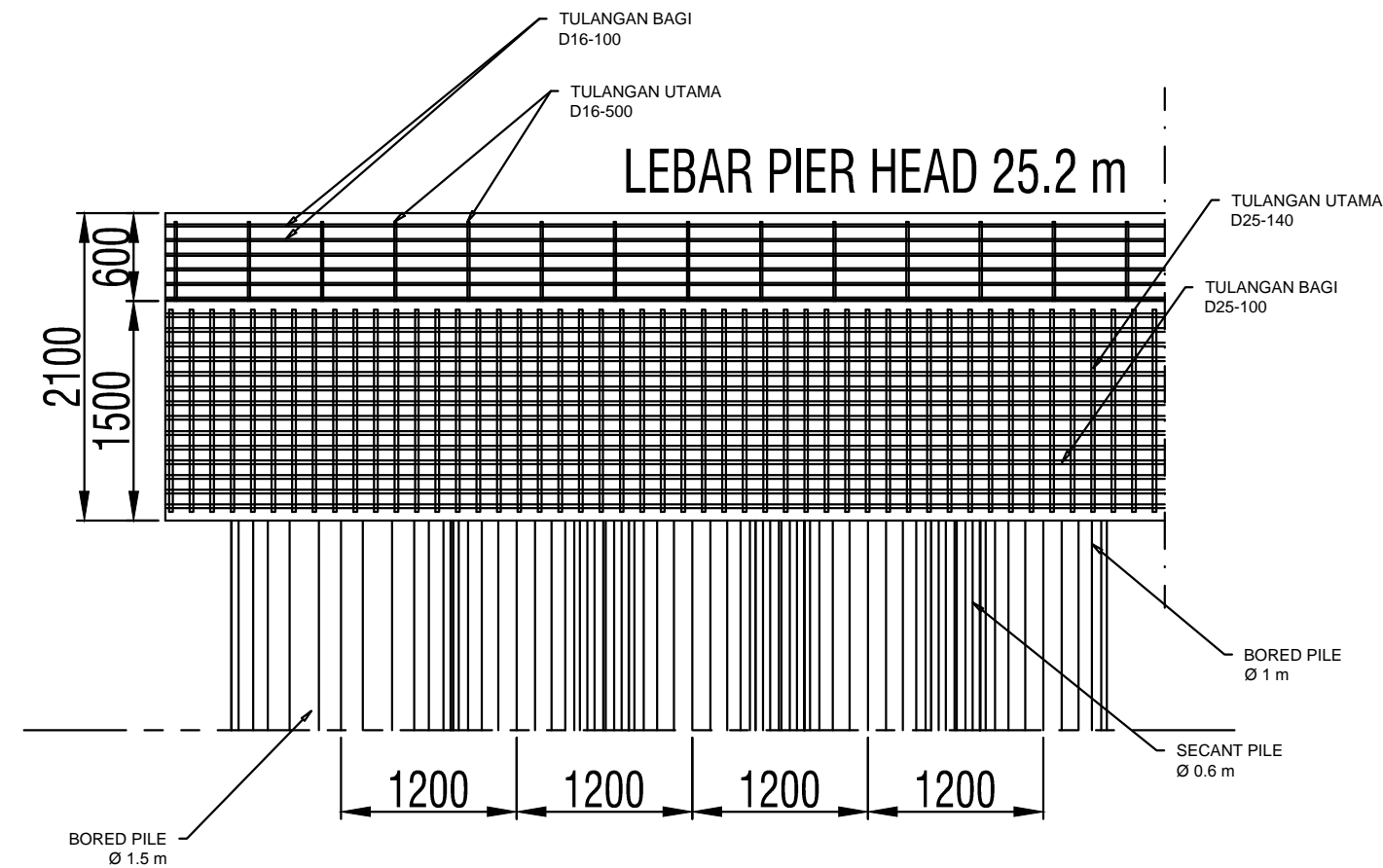


POTONGAN PILAR
SKALA 1:200

Judul Tugas Akhir		Nama Gambar	Skala	Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Nama Mahasiswa	No.	Ket
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN		DETAIL POTONGAN BORED PILE (PILAR)	1:200	Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS 19600105198603 1 003	Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO 19550319198403 1 001	MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ 3114030161 DENI MAULANA 3114030162	5	

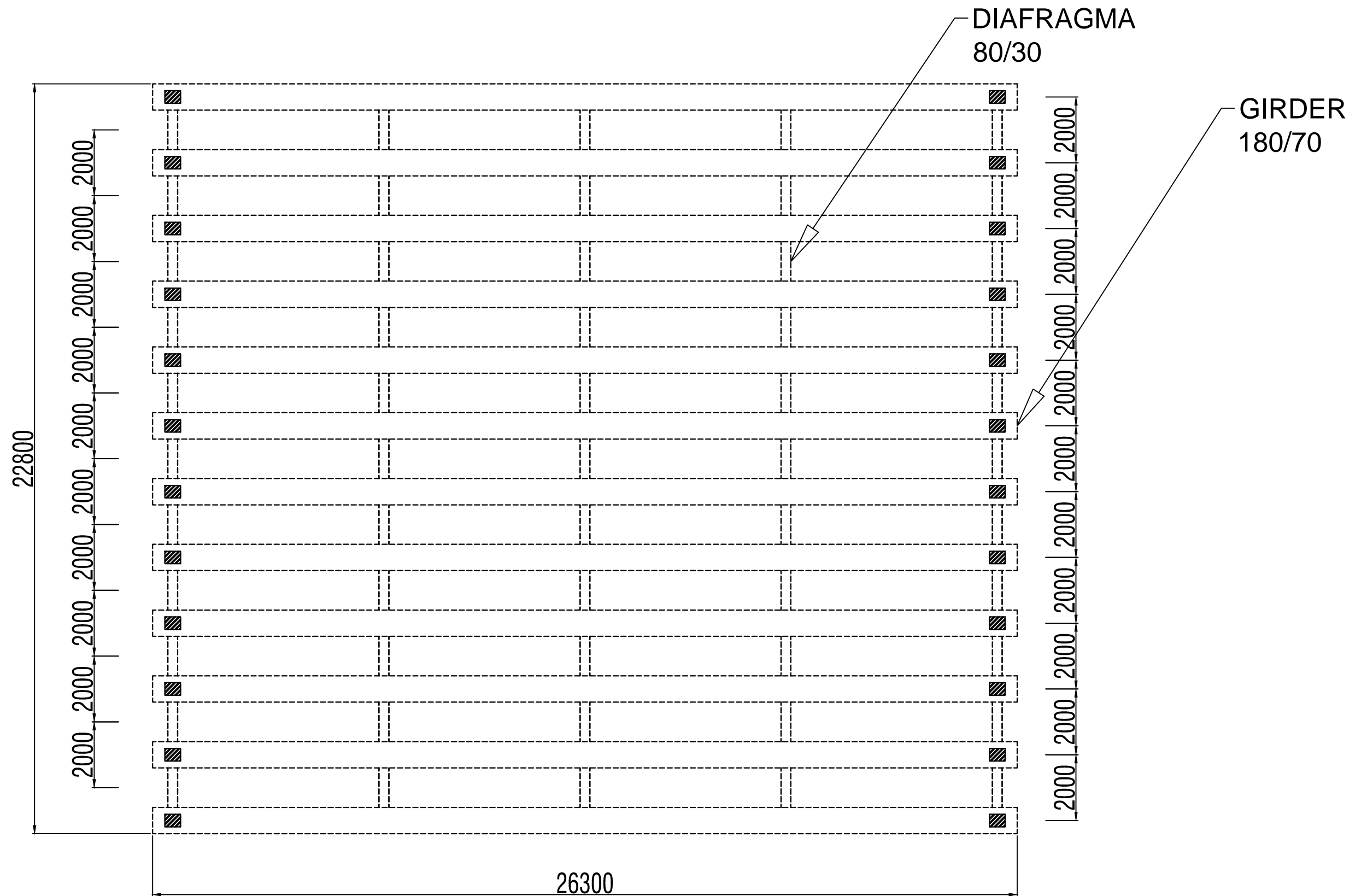


	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Nama Mahasiswa	No.	Ket
	MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN	PENULANGAN PILAR	1:20	Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS 19600105198603 1 003	Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO 19550319198403 1 001	MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ 3114030161 DENI MAULANA 3114030162	6	



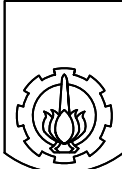
PENULANGAN ABUTMENT

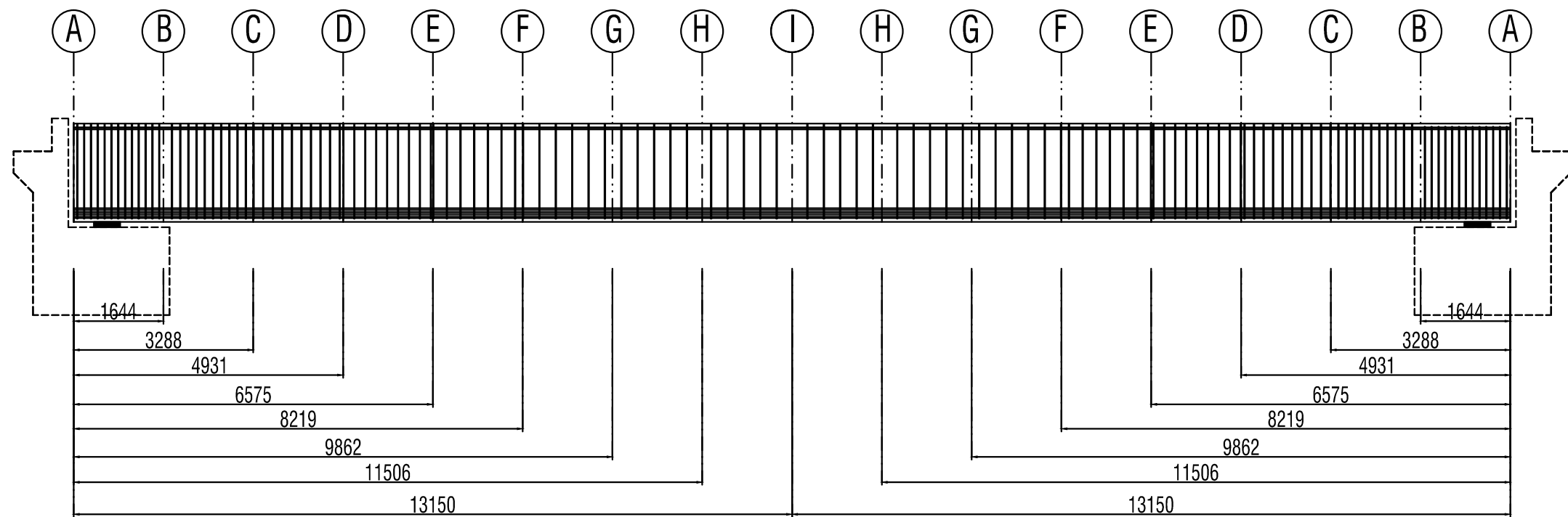
SKALA 1:20



DETAIL 1-1

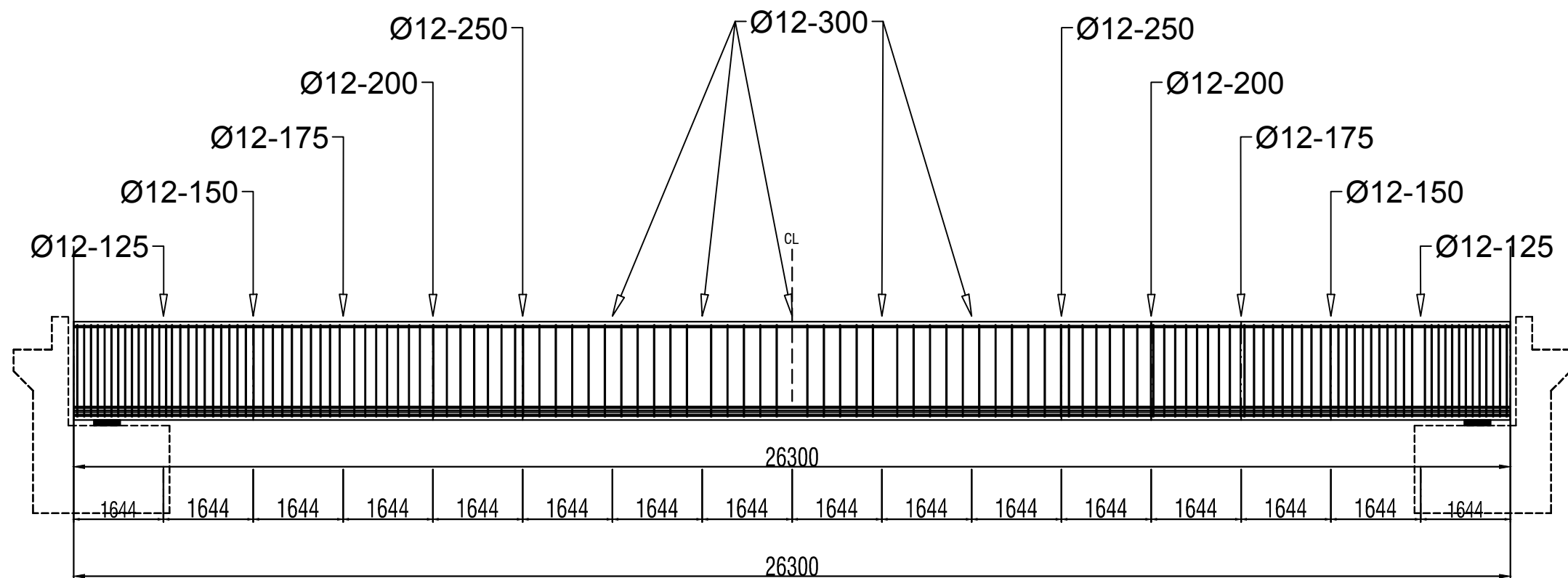


 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Nama Mahasiswa	No.	Ket
	MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN	DENAH GIRDER & DIAFRAGMA (2 / 2)	1:125	Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS 19600105198603 1 003	Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO 19550319198403 1 001	MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ 3114030161 DENI MAULANA 3114030162	9	



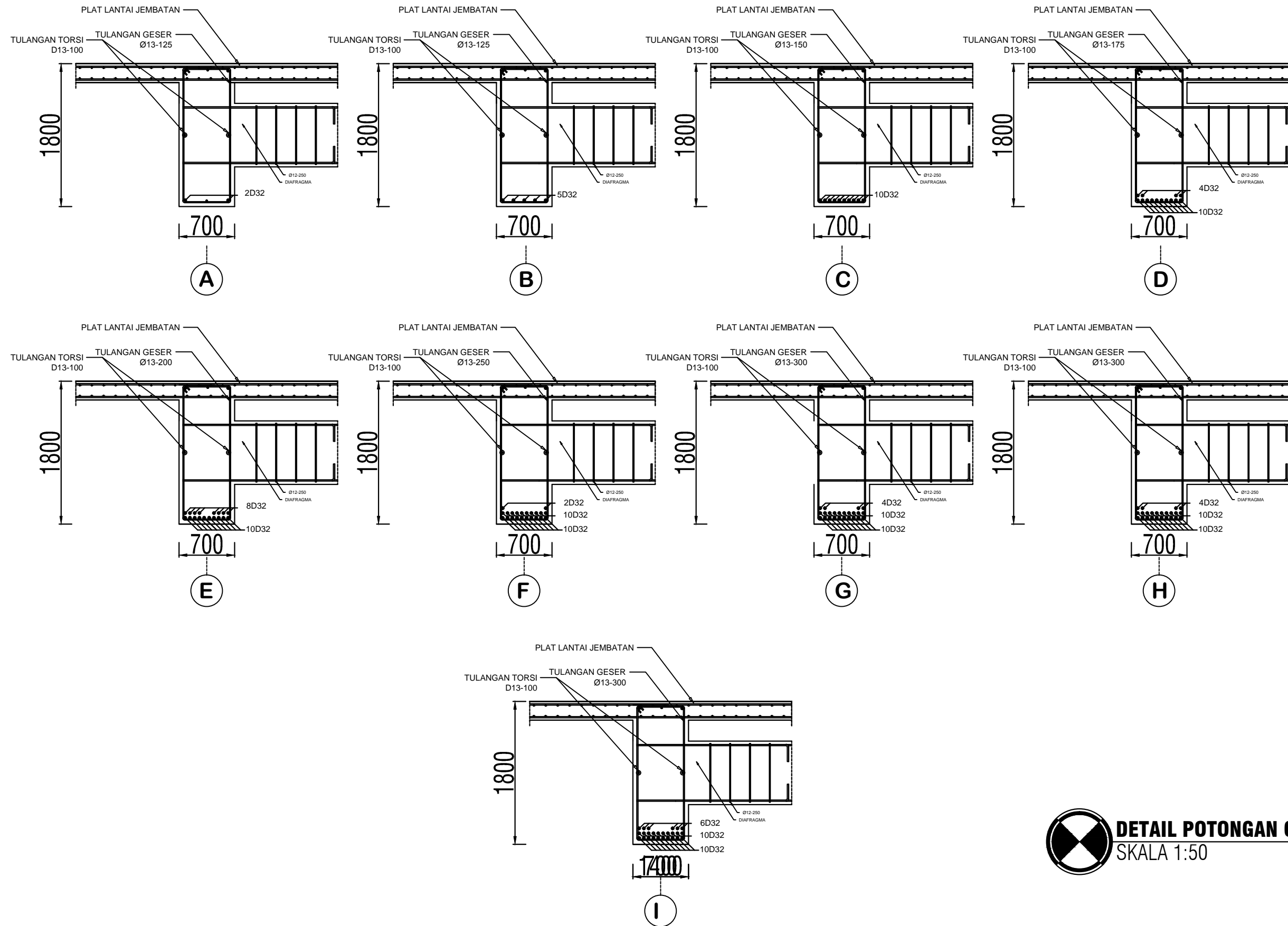
DETAIL PEMBAGIAN GIRDER BERDASARKAN JARAK SENGKANG

SKALA 1:100

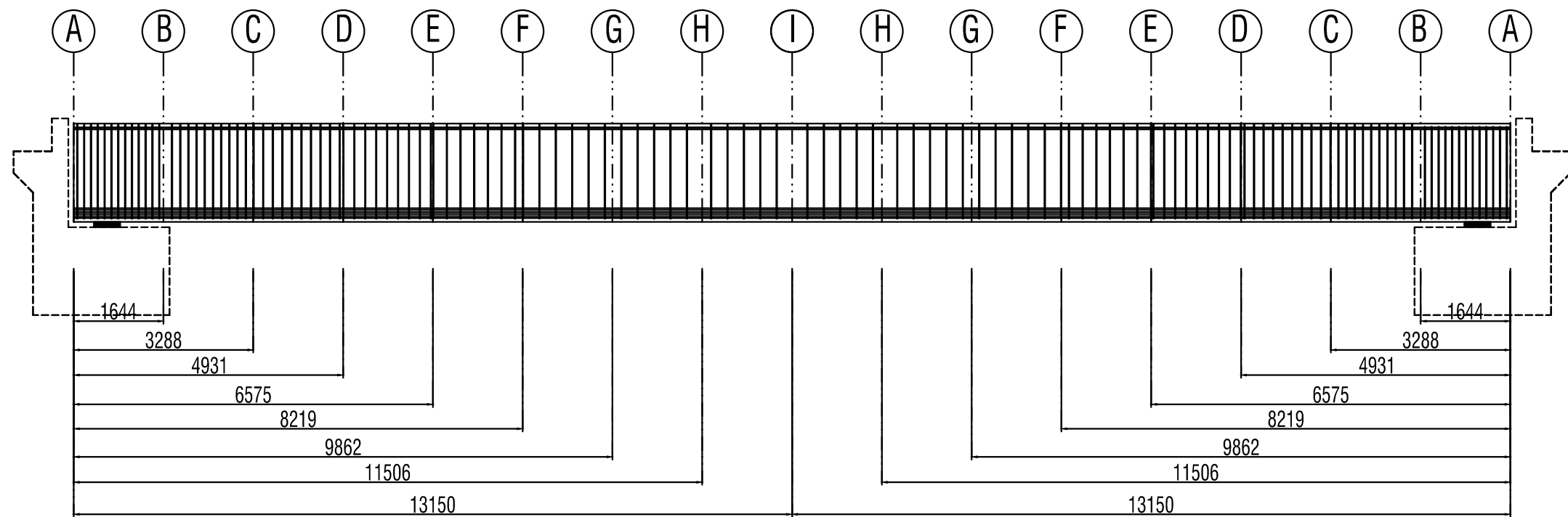


DETAIL TULANGAN SENGKANG GIRDER

SKALA 1:100

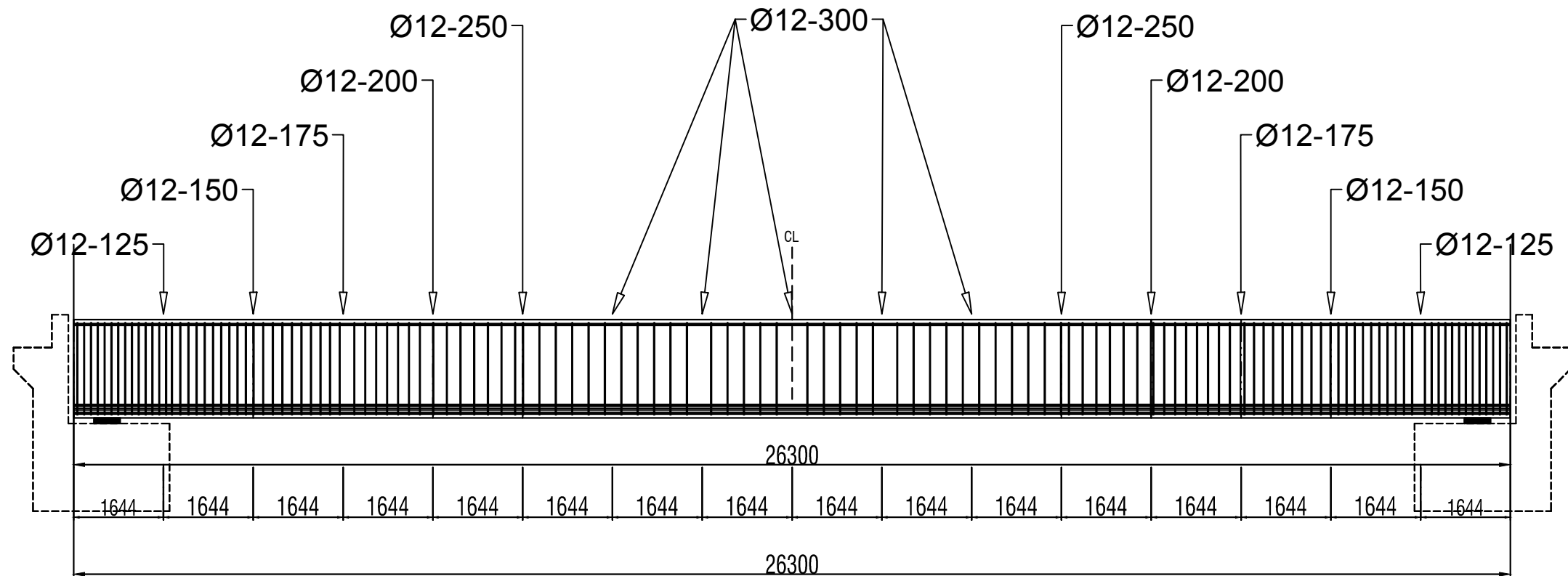


DETAIL POTONGAN GIRDER TEPI SKALA 1:50



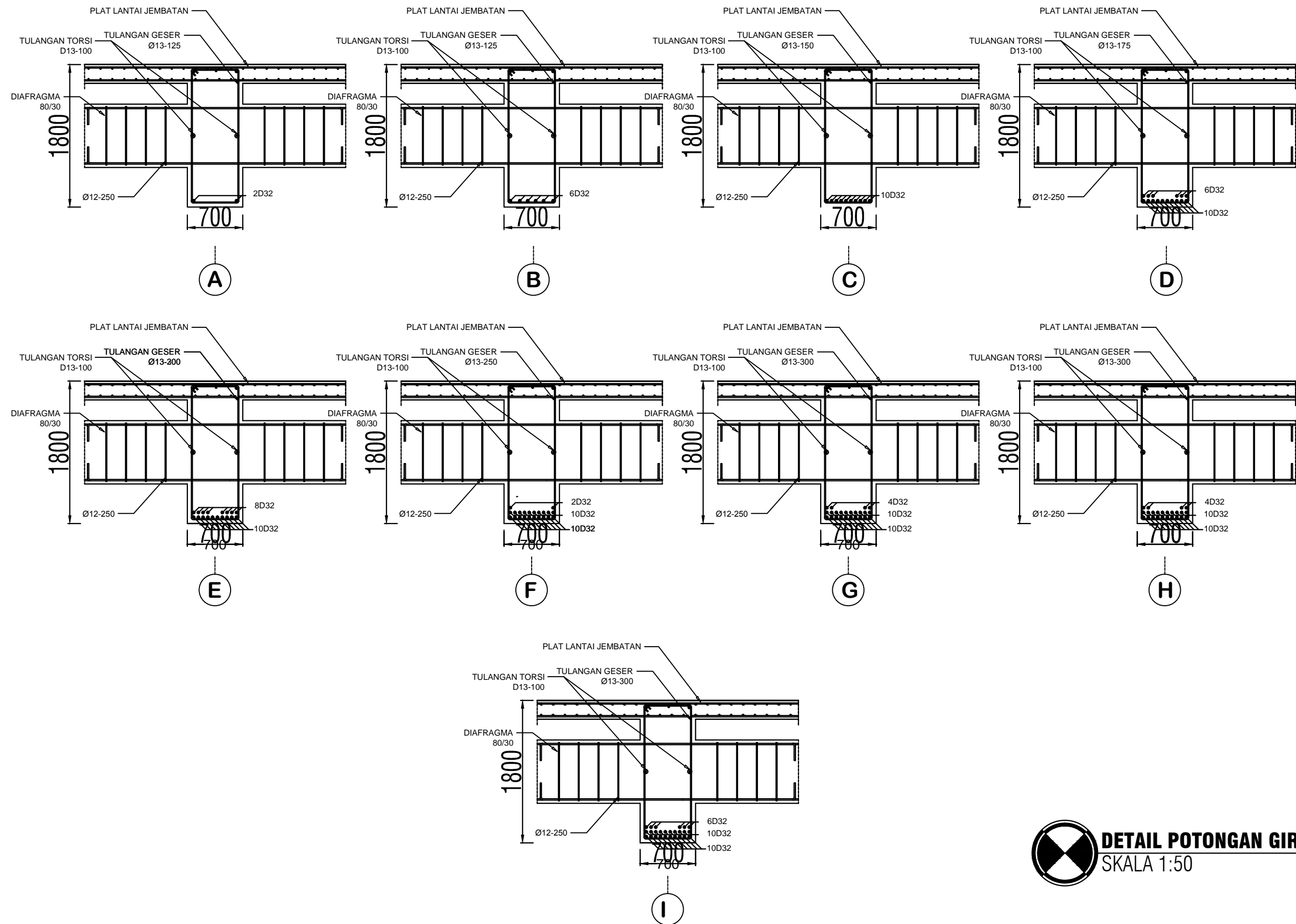
DETAIL PEMBAGIAN GIRDER BERDASARKAN JARAK SENGKANG

SKALA 1:100

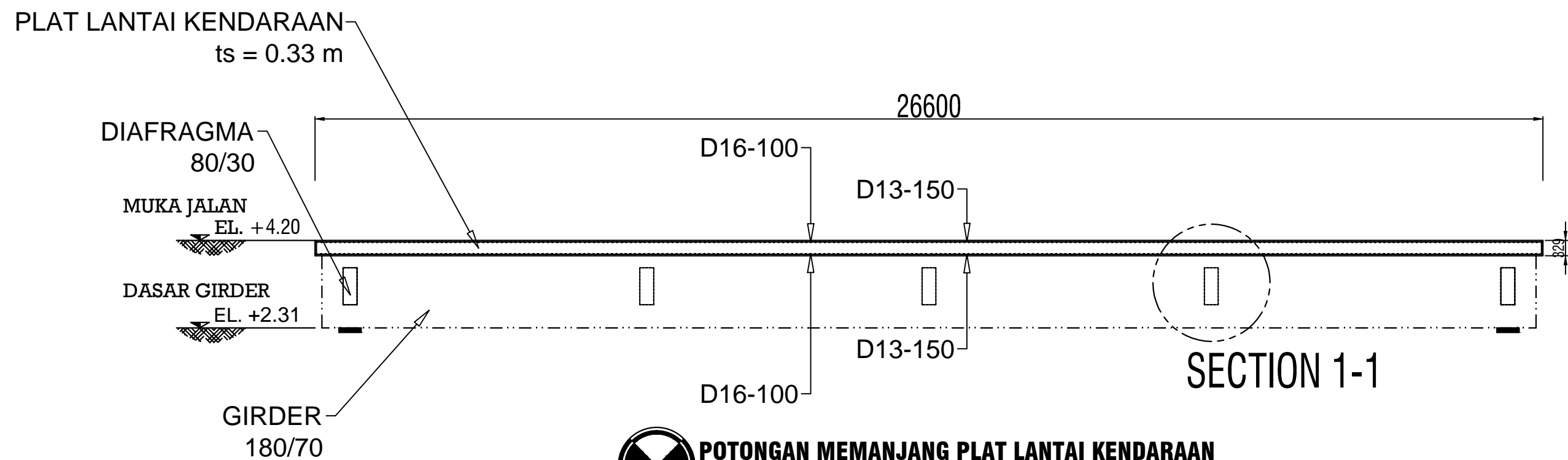


DETAIL TULANGAN SENGKANG GIRDER

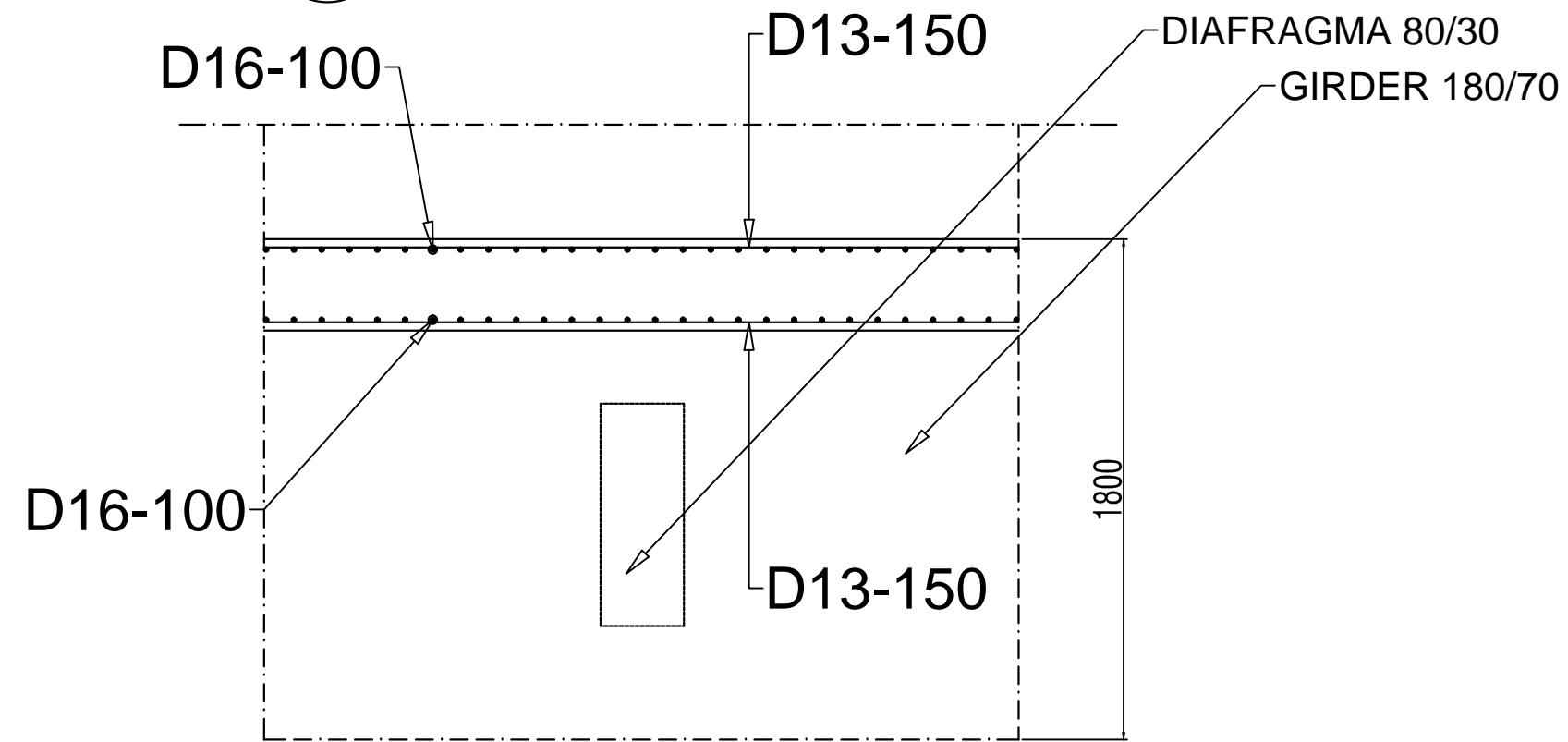
SKALA 1:100



DETAIL POTONGAN GIRDER TENGAH
SKALA 1:50



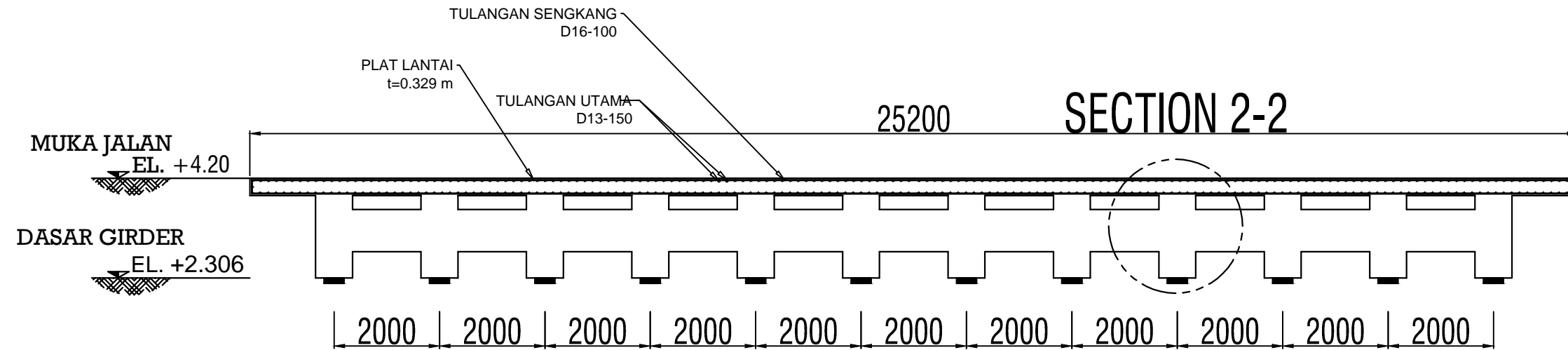
POTONGAN MEMANJANG PLAT LANTAI KENDARAAN
SKALA 1:100



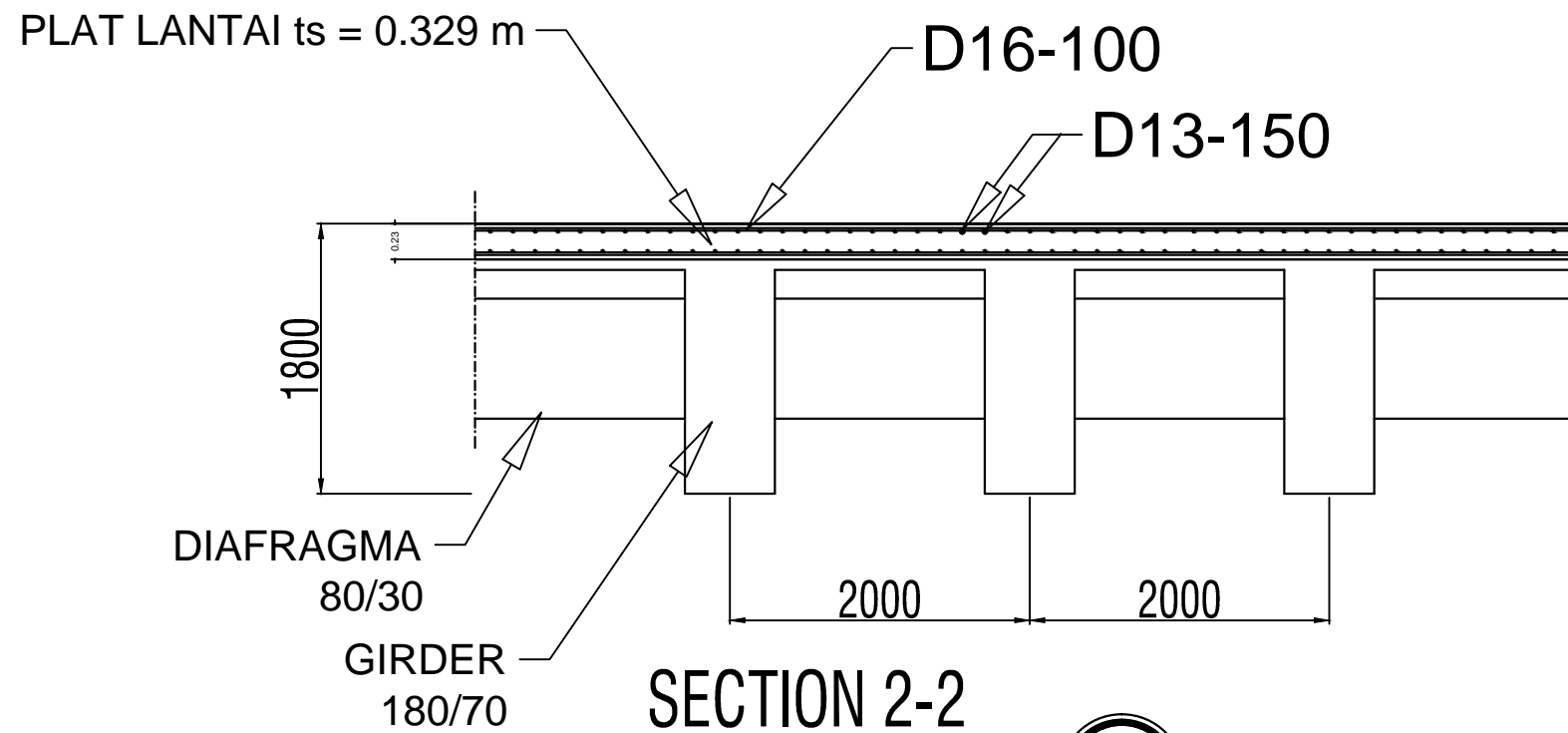
SECTION 1-1



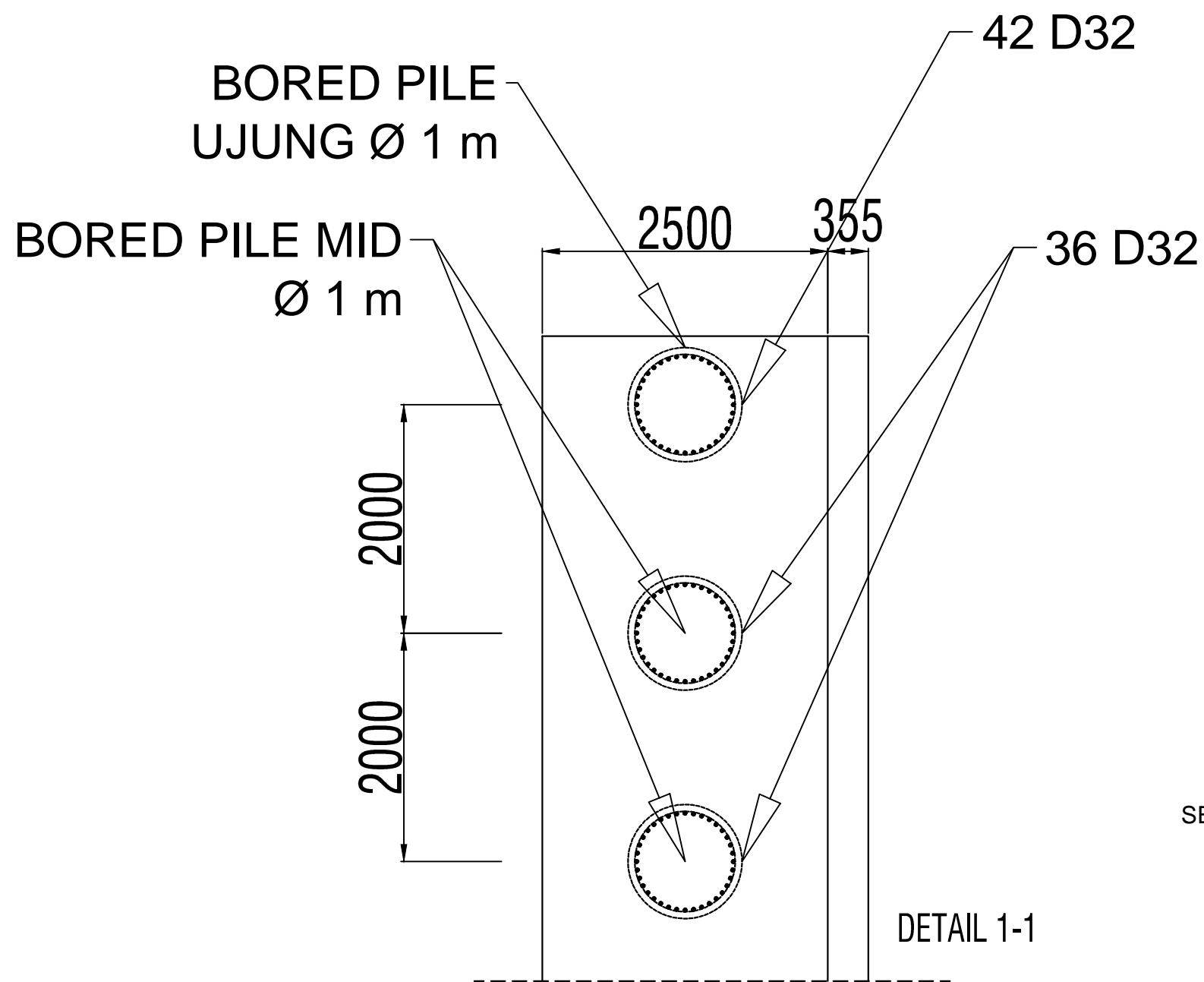
POTONGAN MEMANJANG PLAT
SKALA 1:25



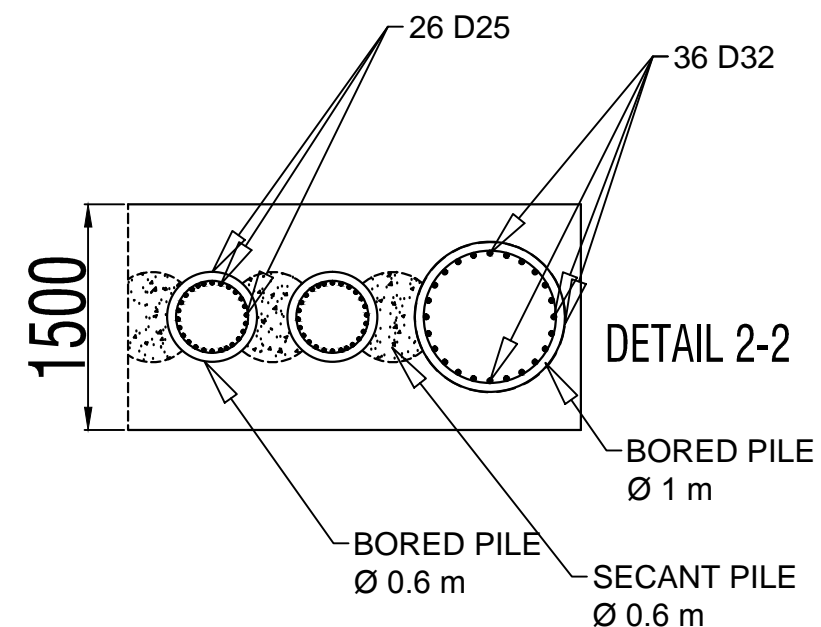
POTONGAN MELINTANG PLAT LANTAI KENDARAAN
SKALA 1:100



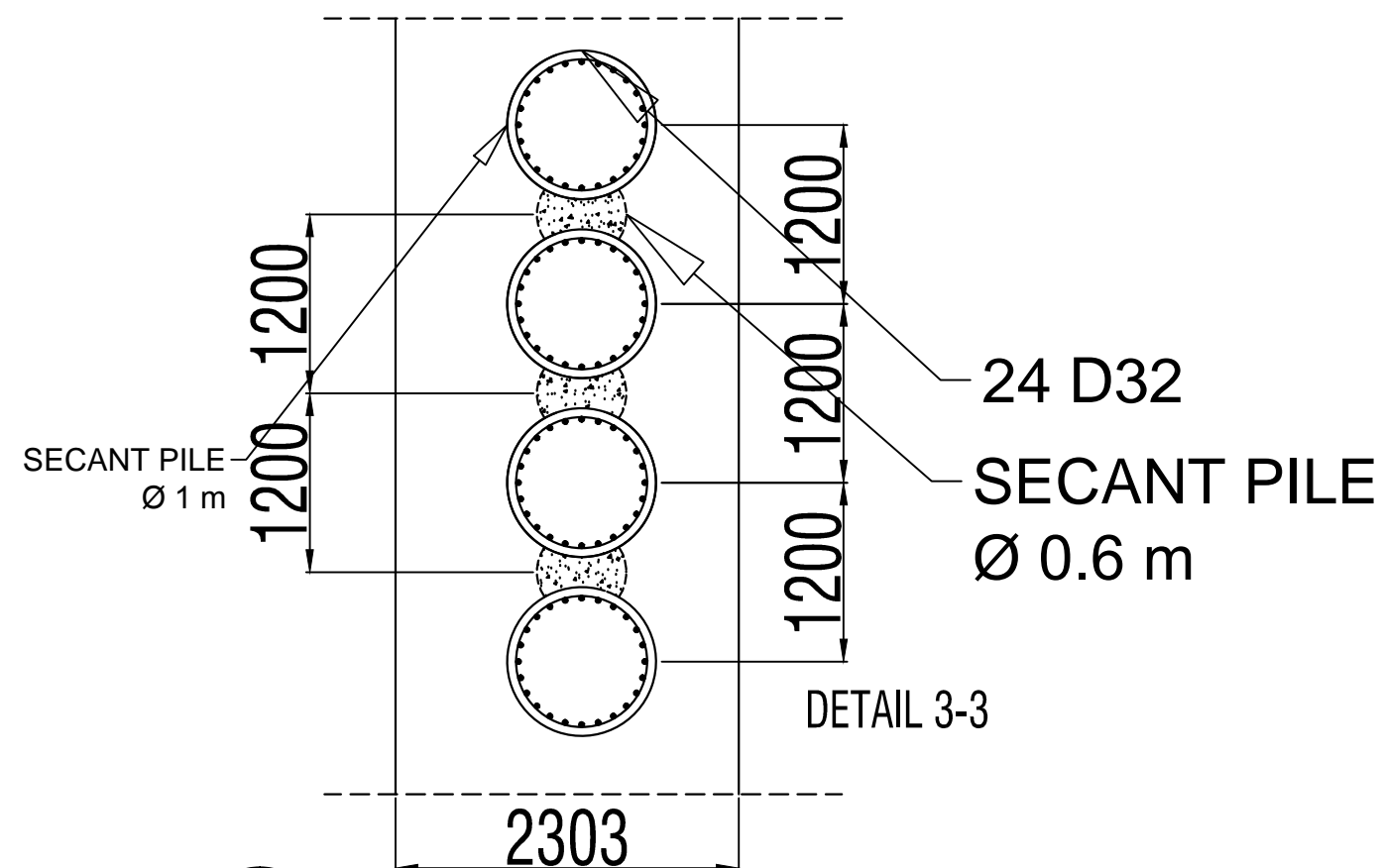
POTONGAN MELINTANG PLAT
SKALA 1:50




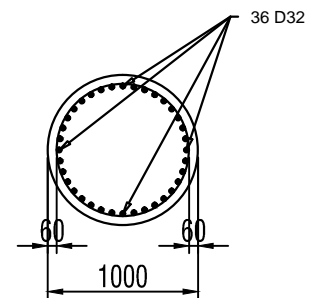
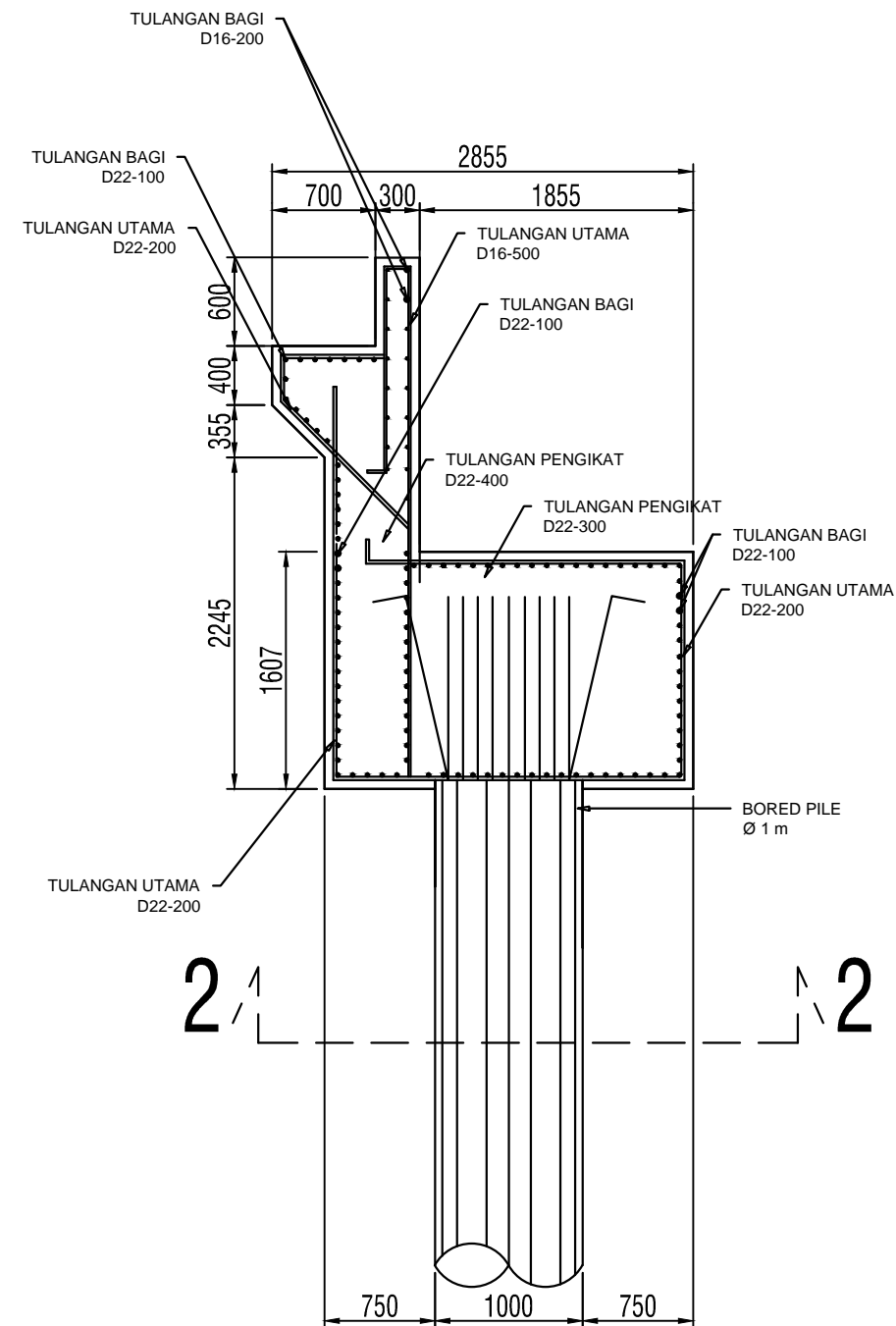
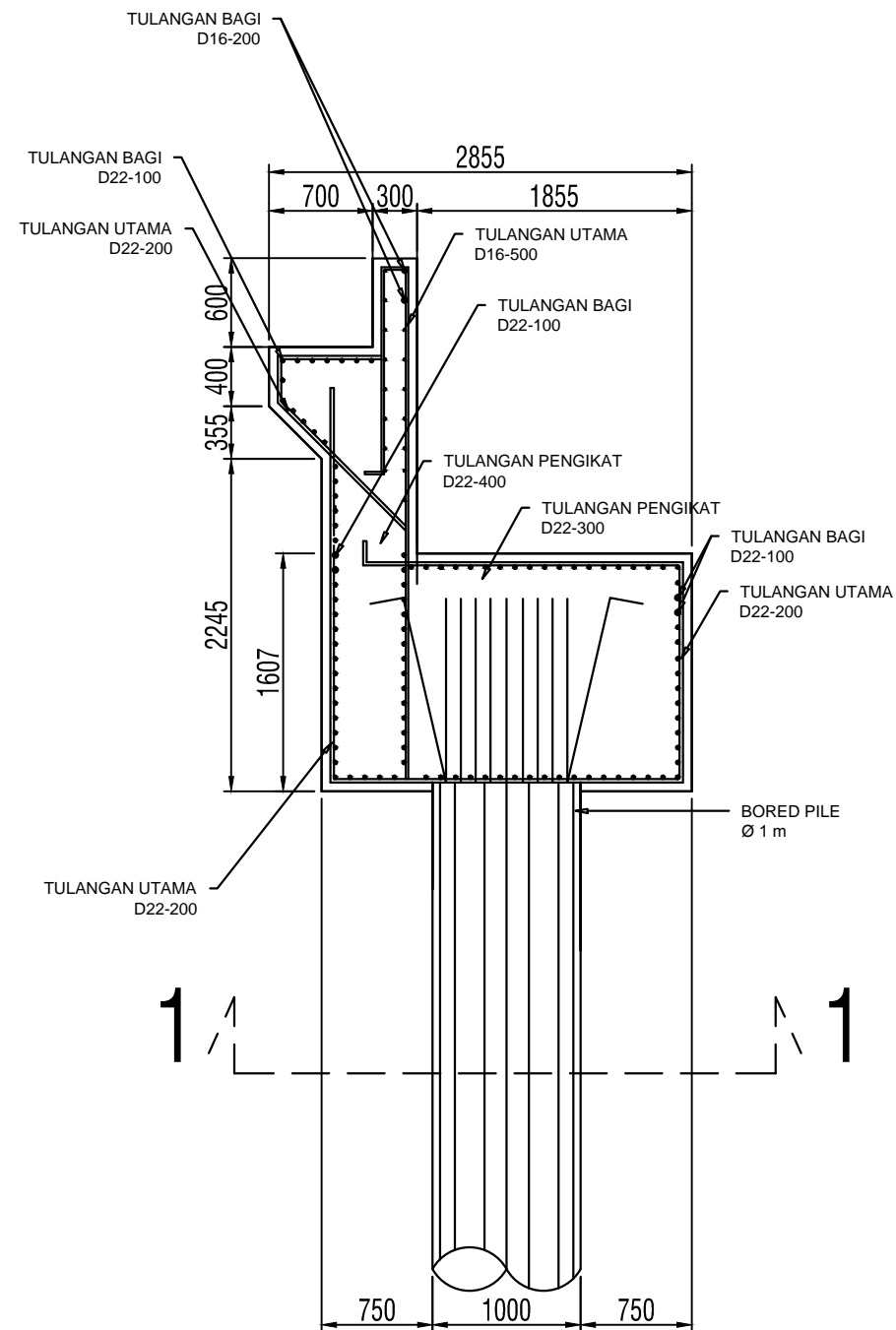
 **DETAIL PONDASI PILAR**
SKALA 1:50



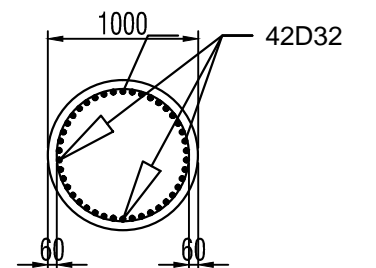
 **DETAIL PONDASI CAPPING SECANT PILE-U**
SKALA 1:50



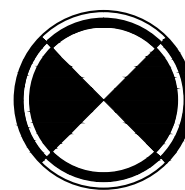
 **DETAIL PONDASI SECANT PILE-U**
SKALA 1:50



DETAIL 1-1

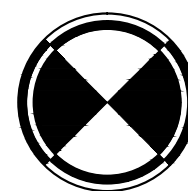
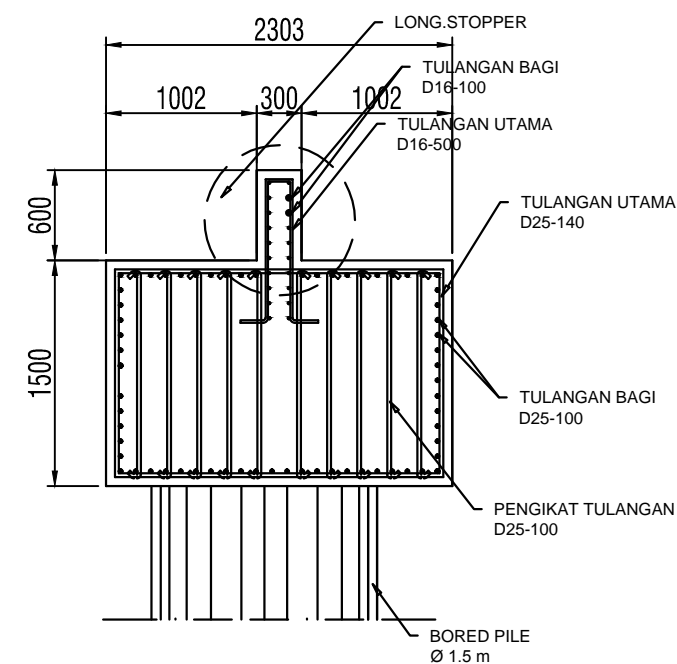
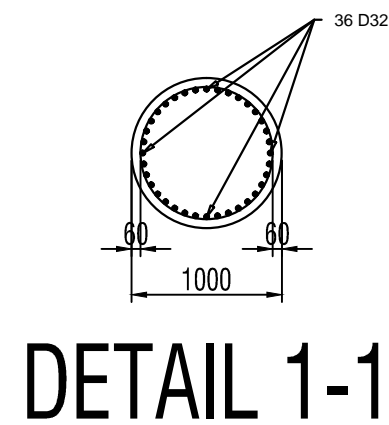
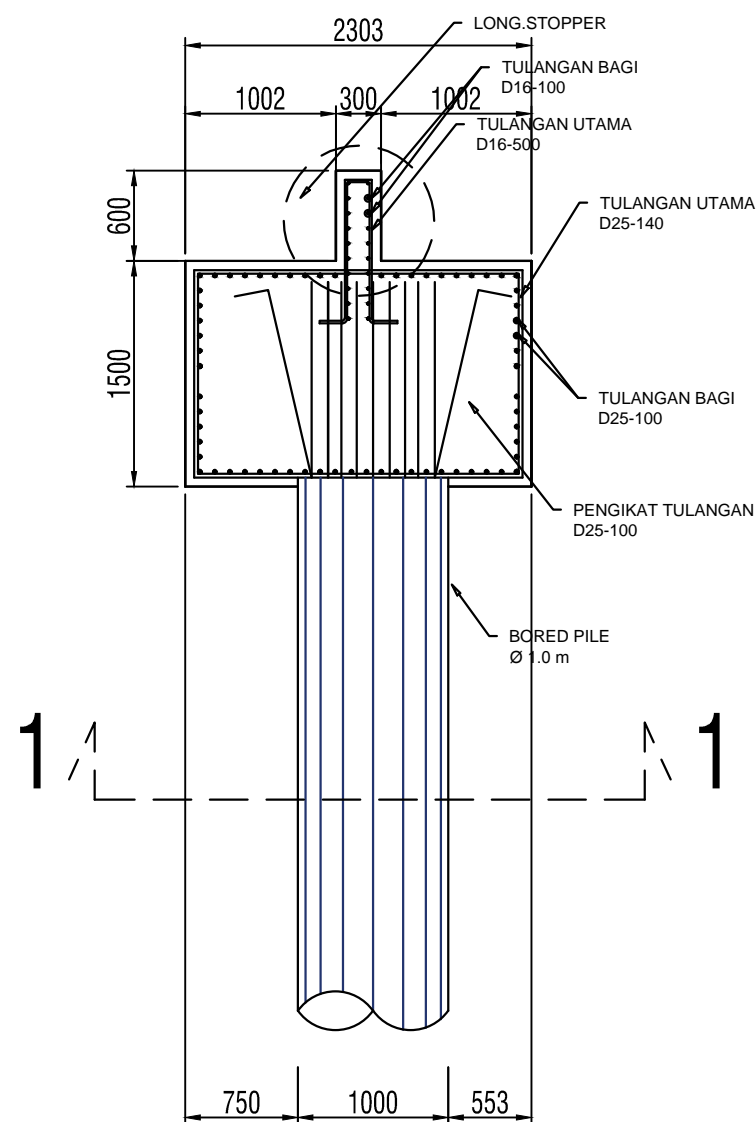


DETAIL 2-2

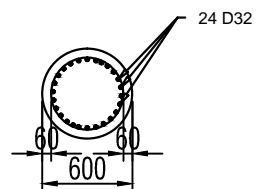
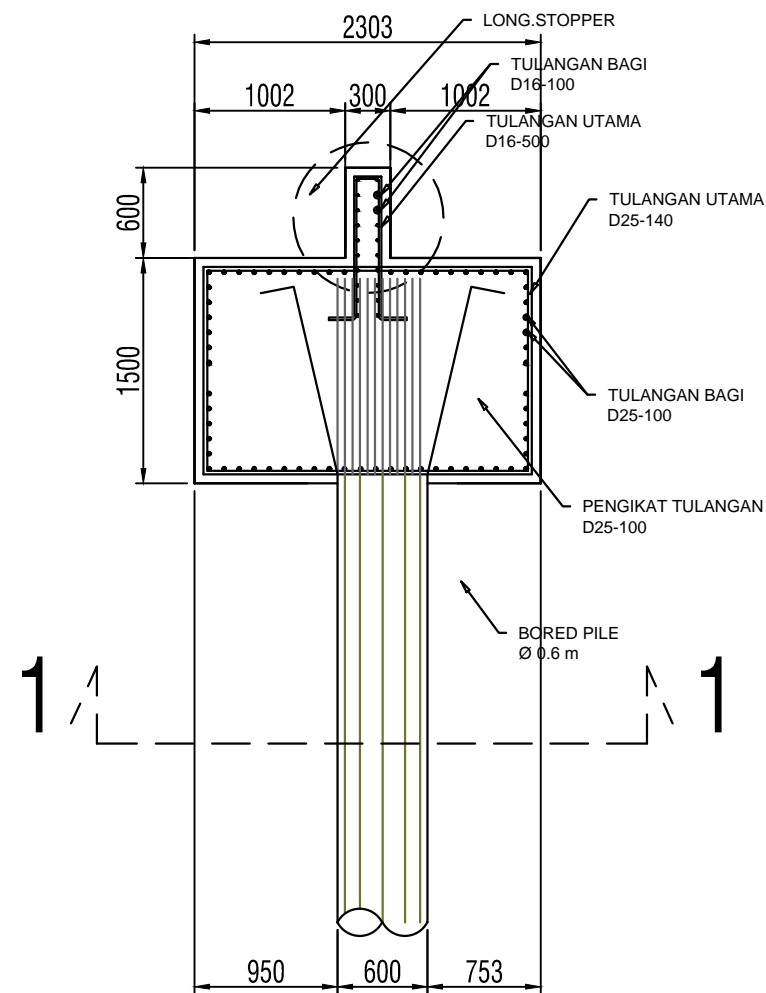


DETAIL PENULANGAN BORED PILE PILAR

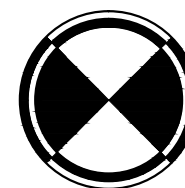
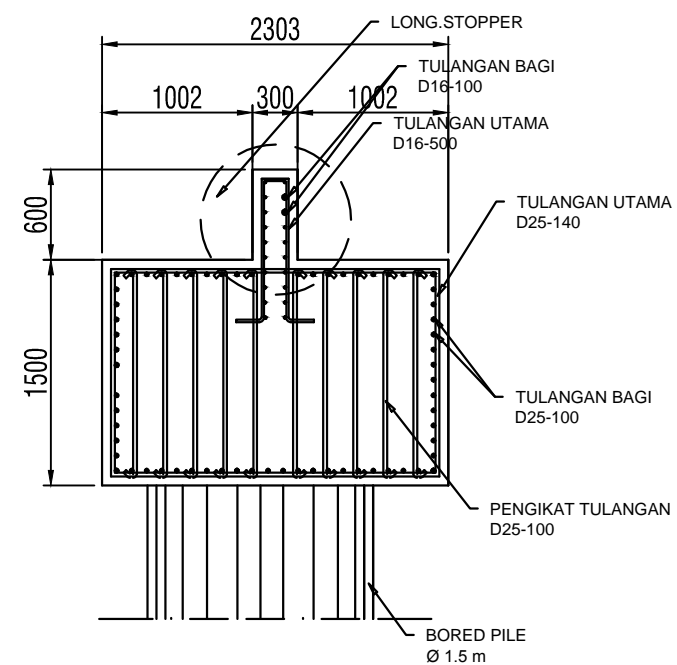
SKALA 1:20



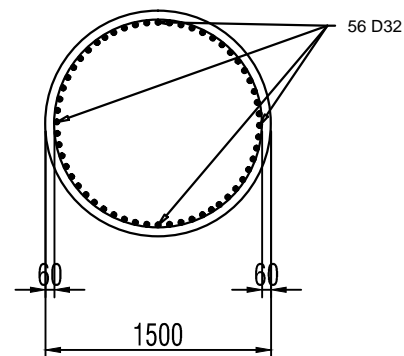
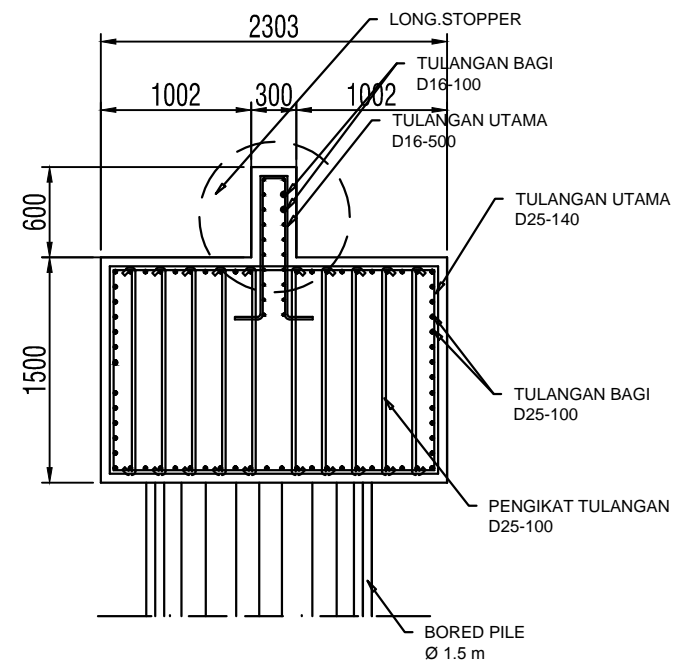
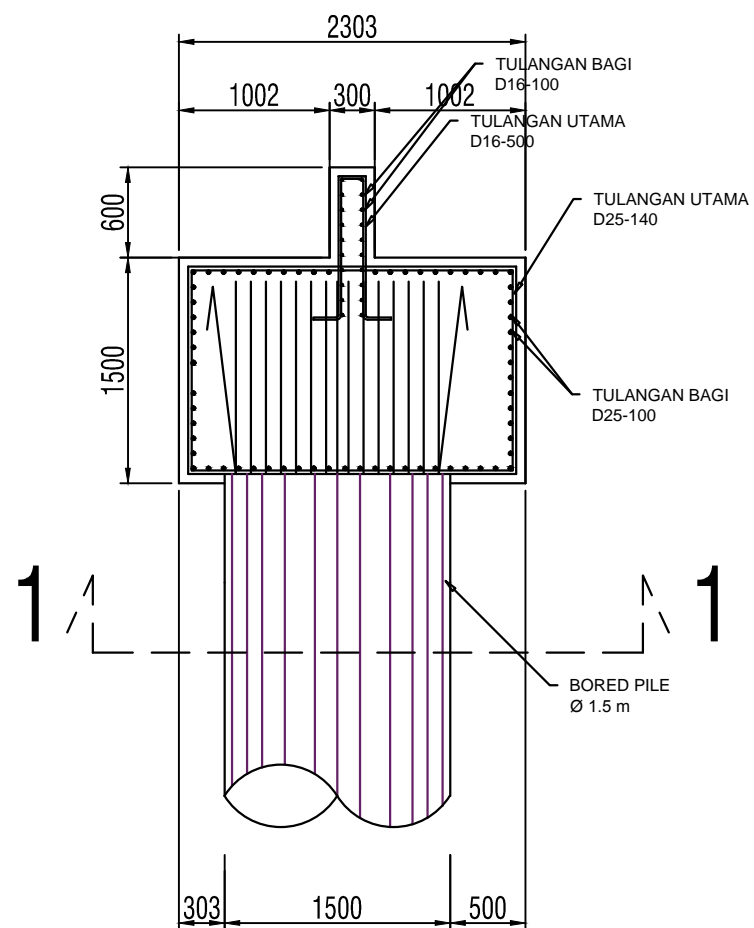
DETAIL PENULANGAN ABUTMENT
SKALA 1:20



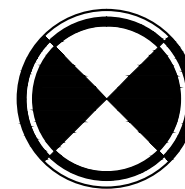
DETAIL 1-1



DETAIL PENULANGAN ABUTMENT
SKALA 1:20

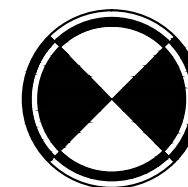
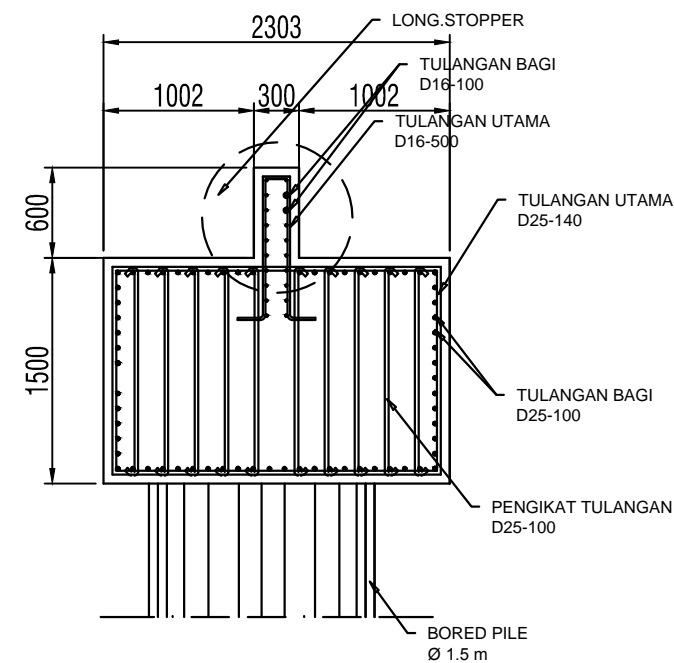
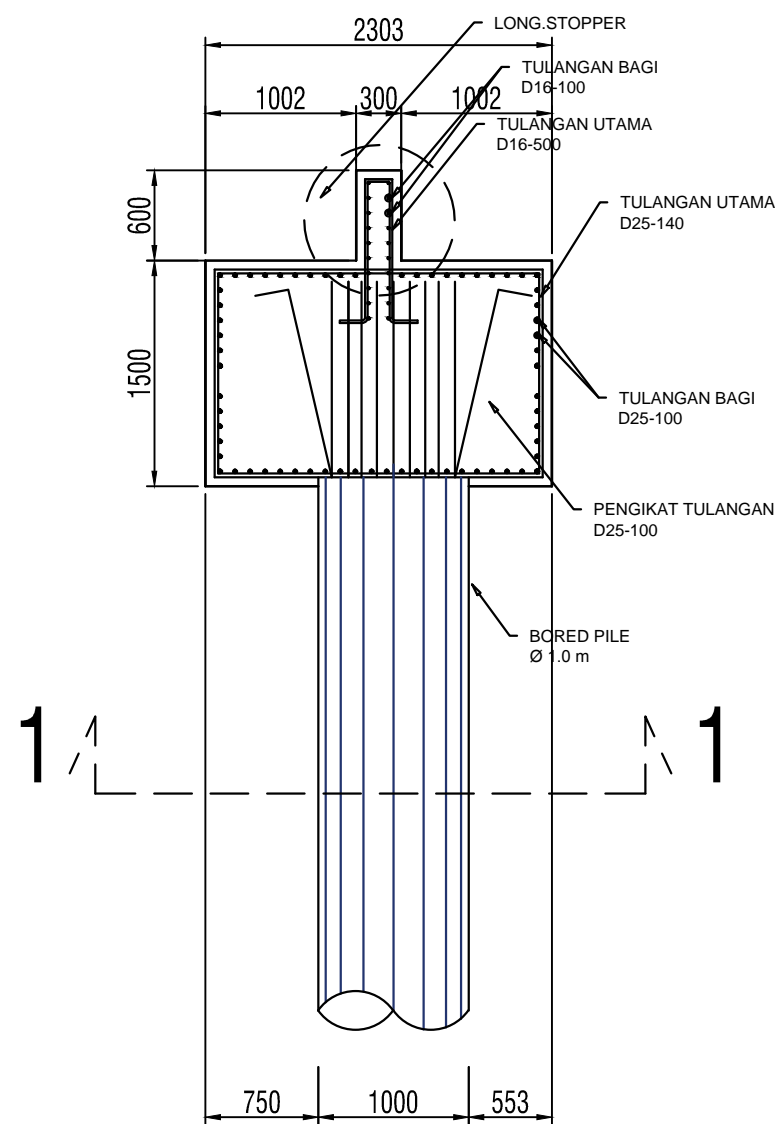


DETAIL 1-1



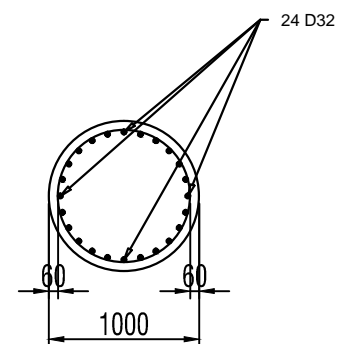
DETAIL PENULANGAN ABUTMENT

SKALA 1:20

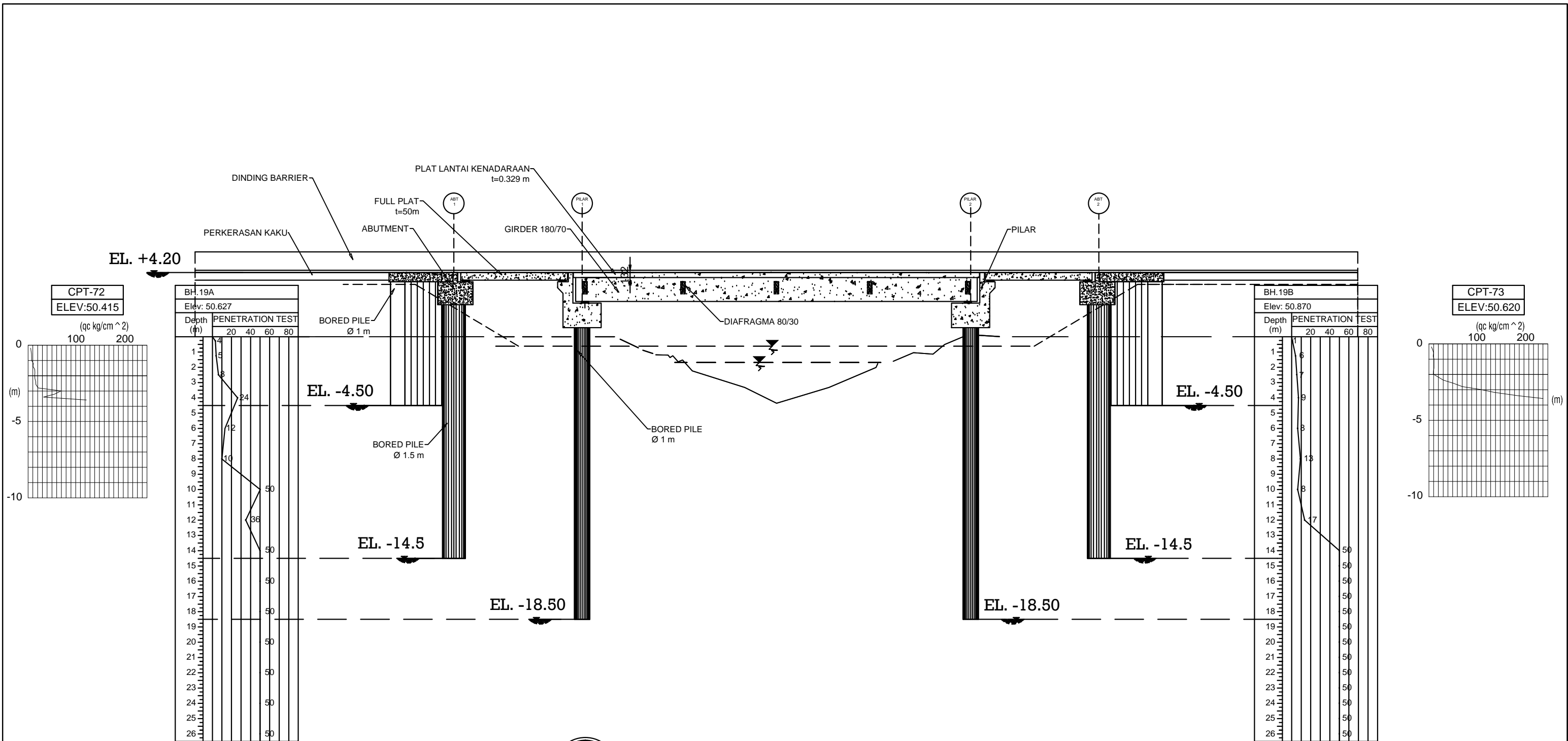


DETAIL PENULANGAN ABUTMENT

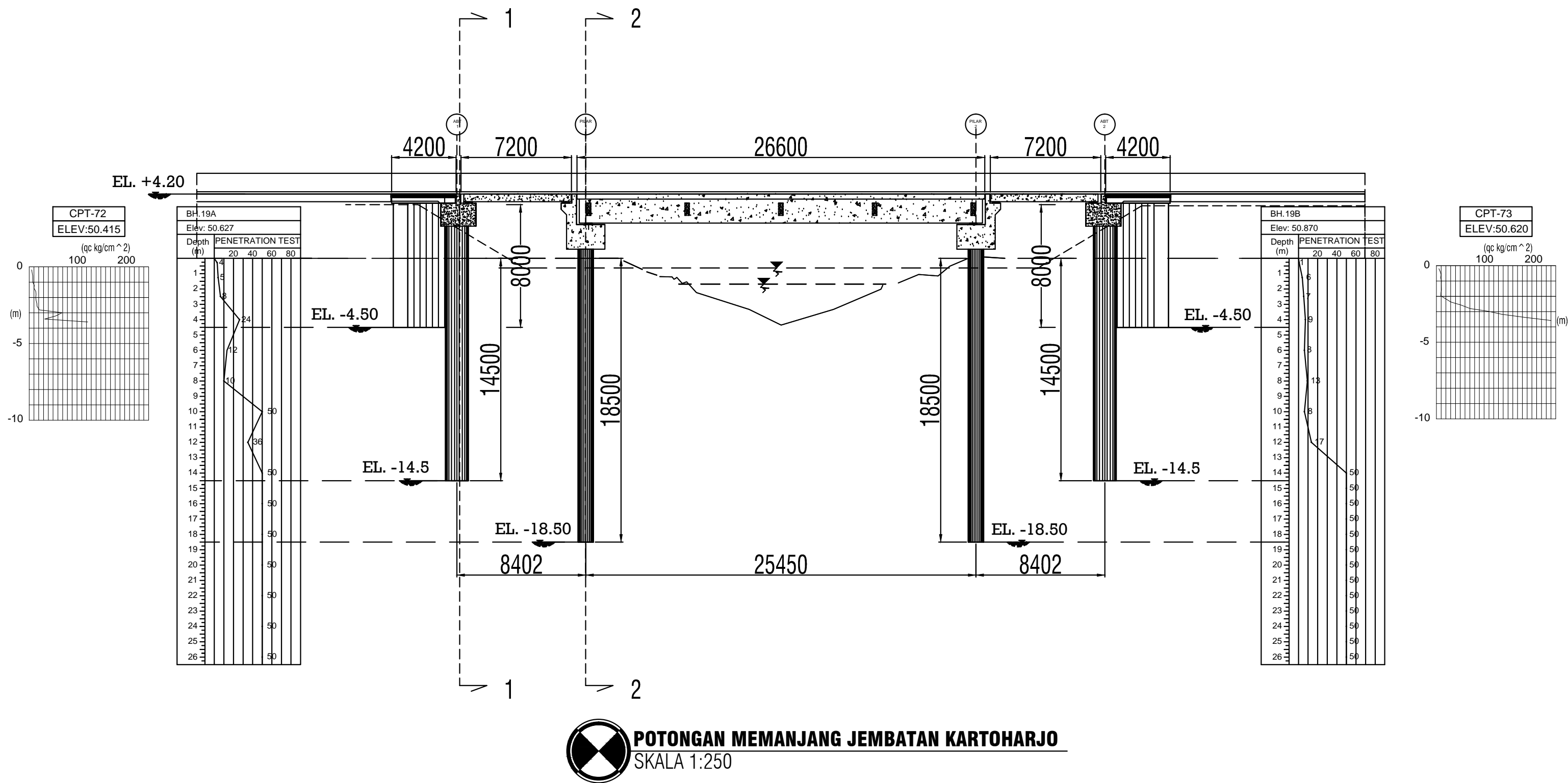
SKALA 1:20



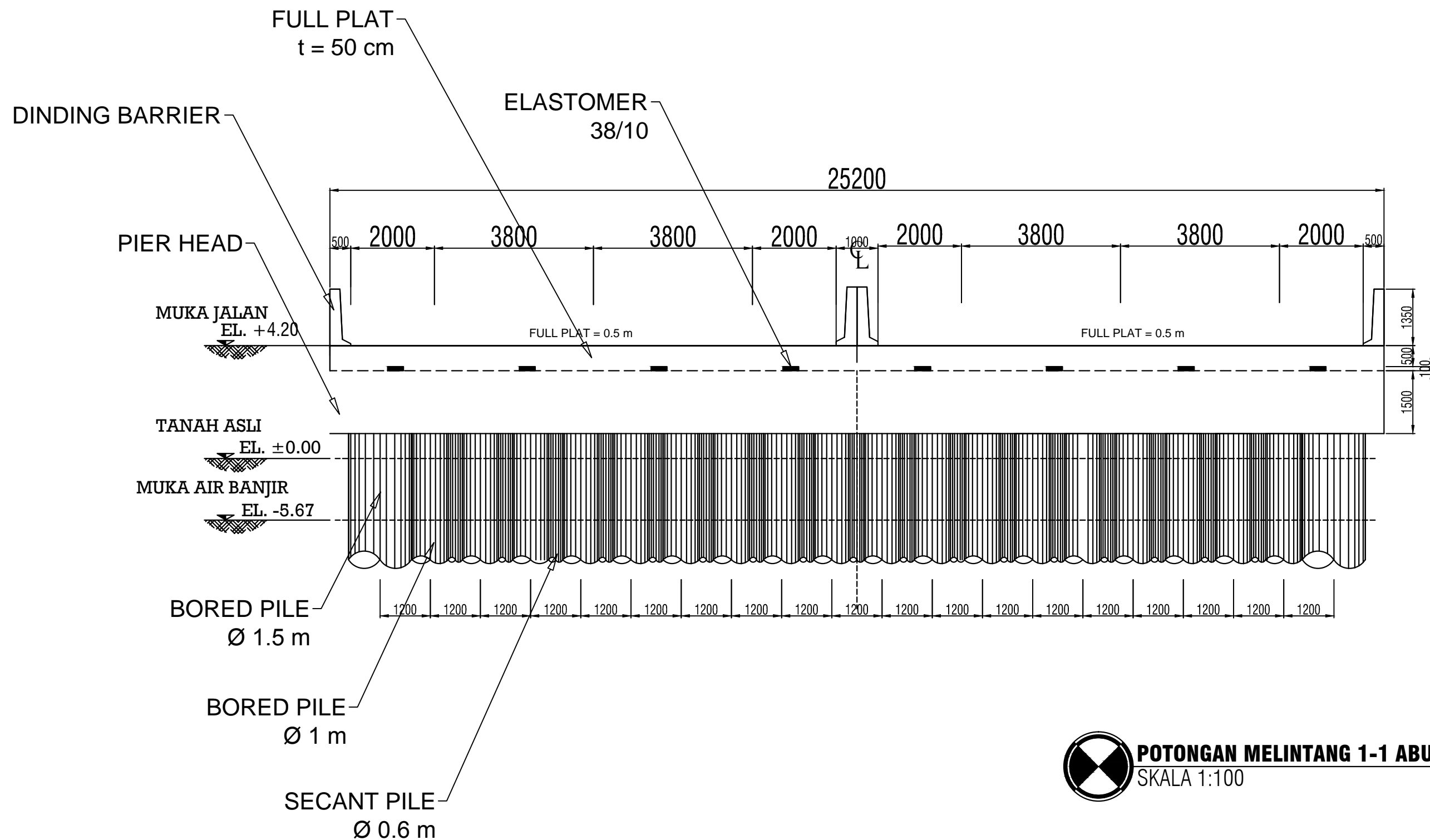
DETAIL 1-1



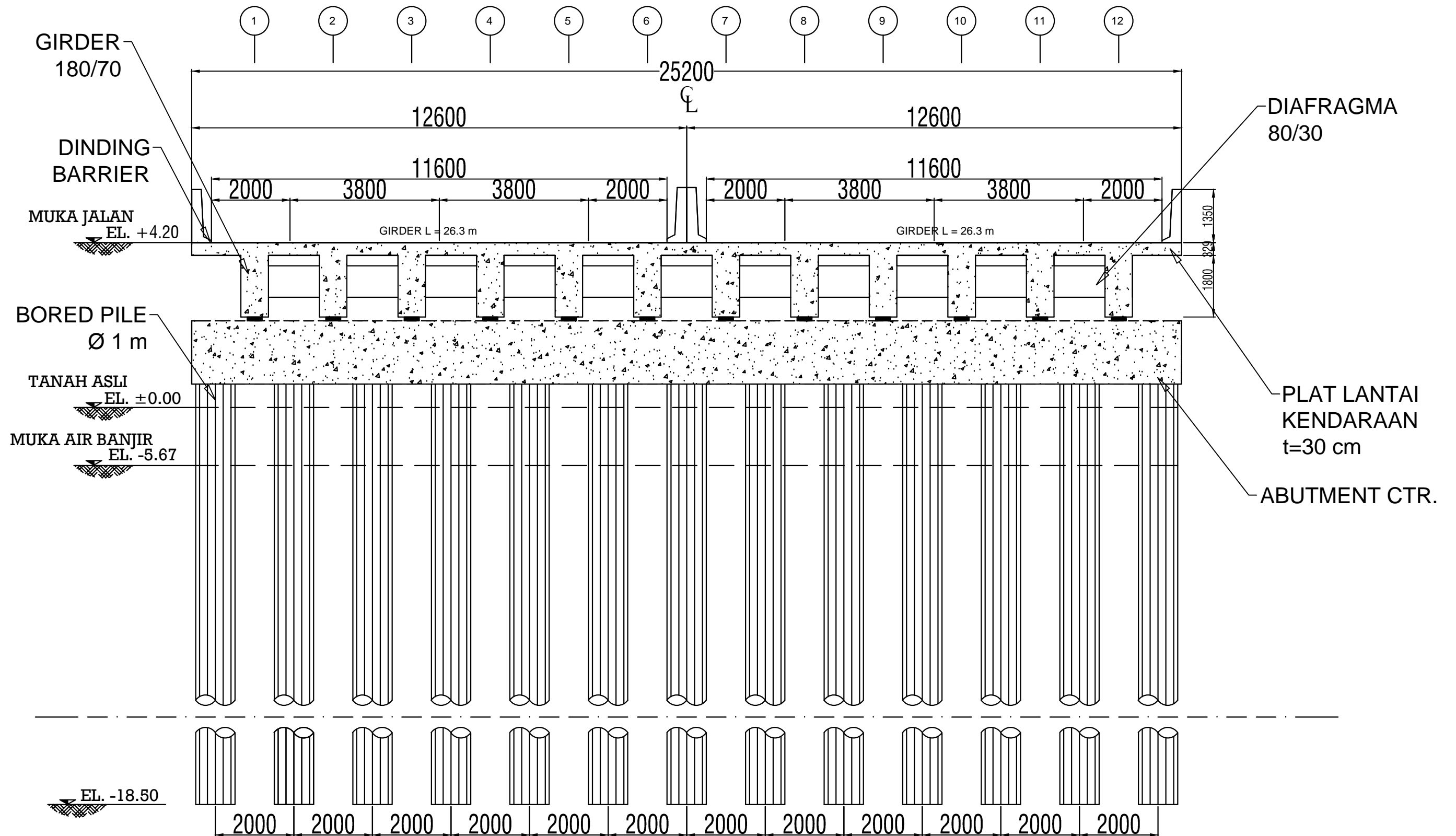
POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN KARTOHARJO
SKALA 1:250



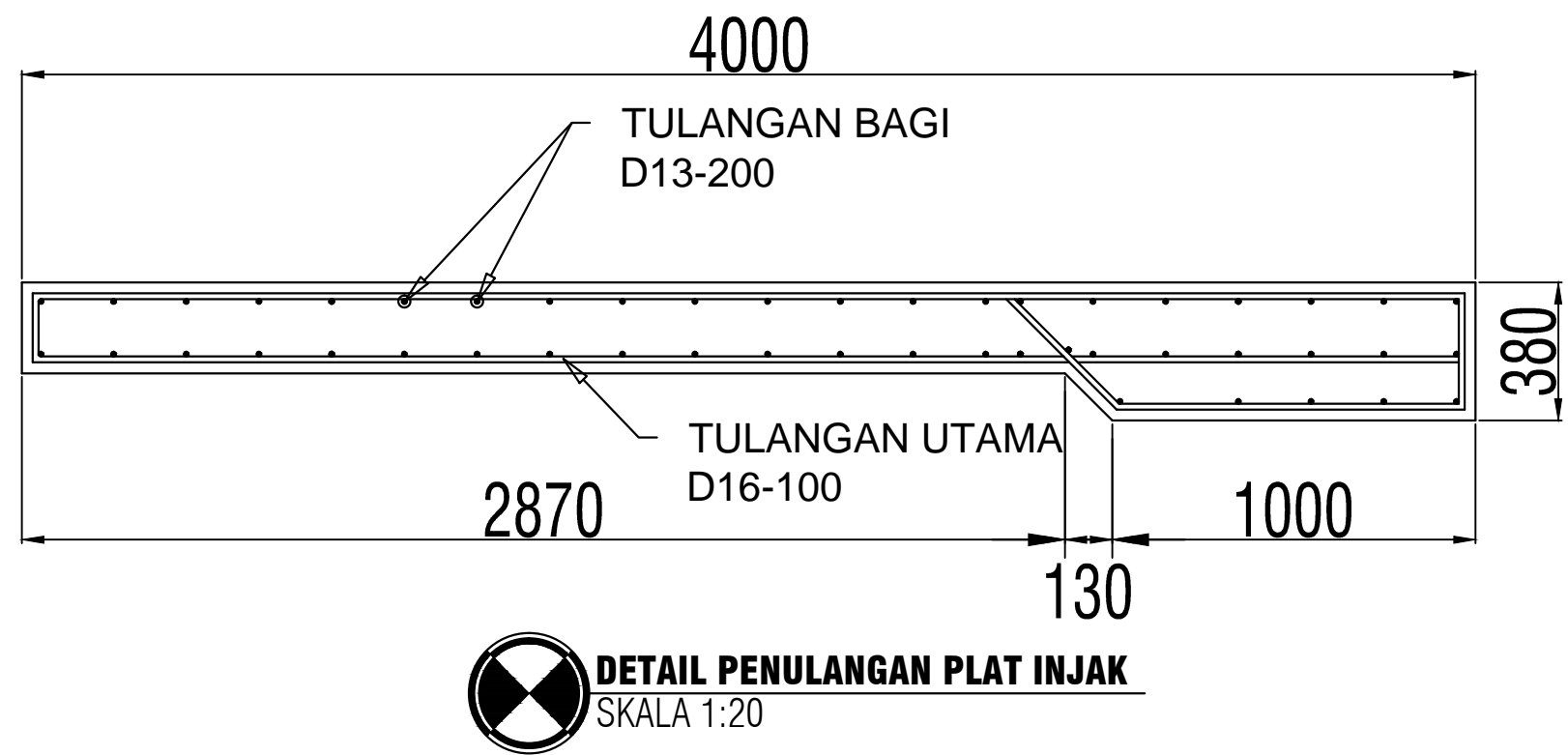
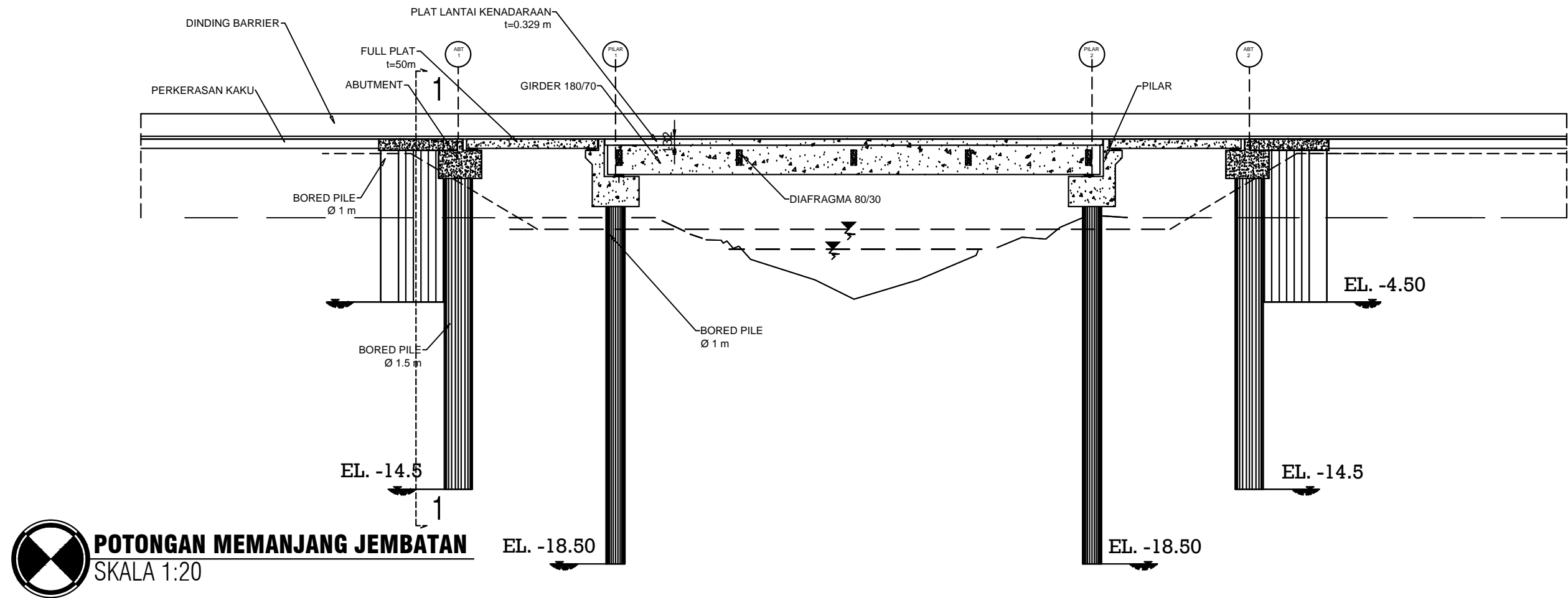
Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Nama Mahasiswa	No.	Ket
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN	TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN (2 / 2)	1:250	Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS 19600105198603 1 003	Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO 19550319198403 1 001	MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ 3114030161 DENI MAULANA 3114030162	23	



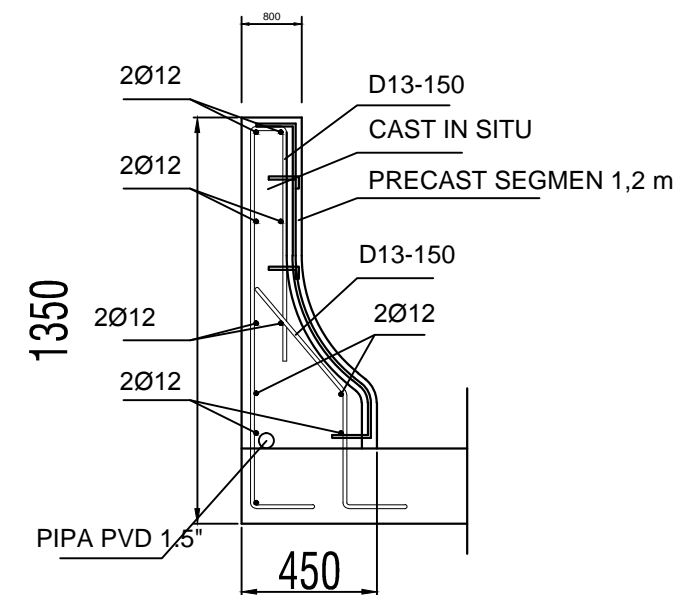
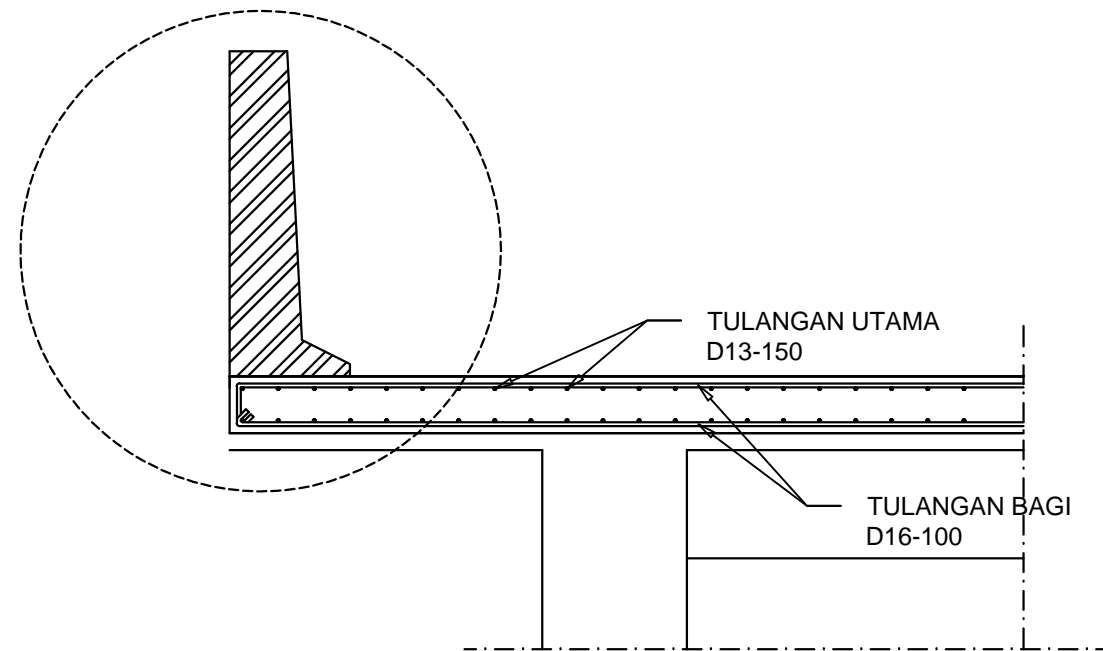
POTONGAN MELINTANG 1-1 ABUTMENT
SKALA 1:100



POTONGAN MELINTANG 2-2 PILAR
SKALA 1:100



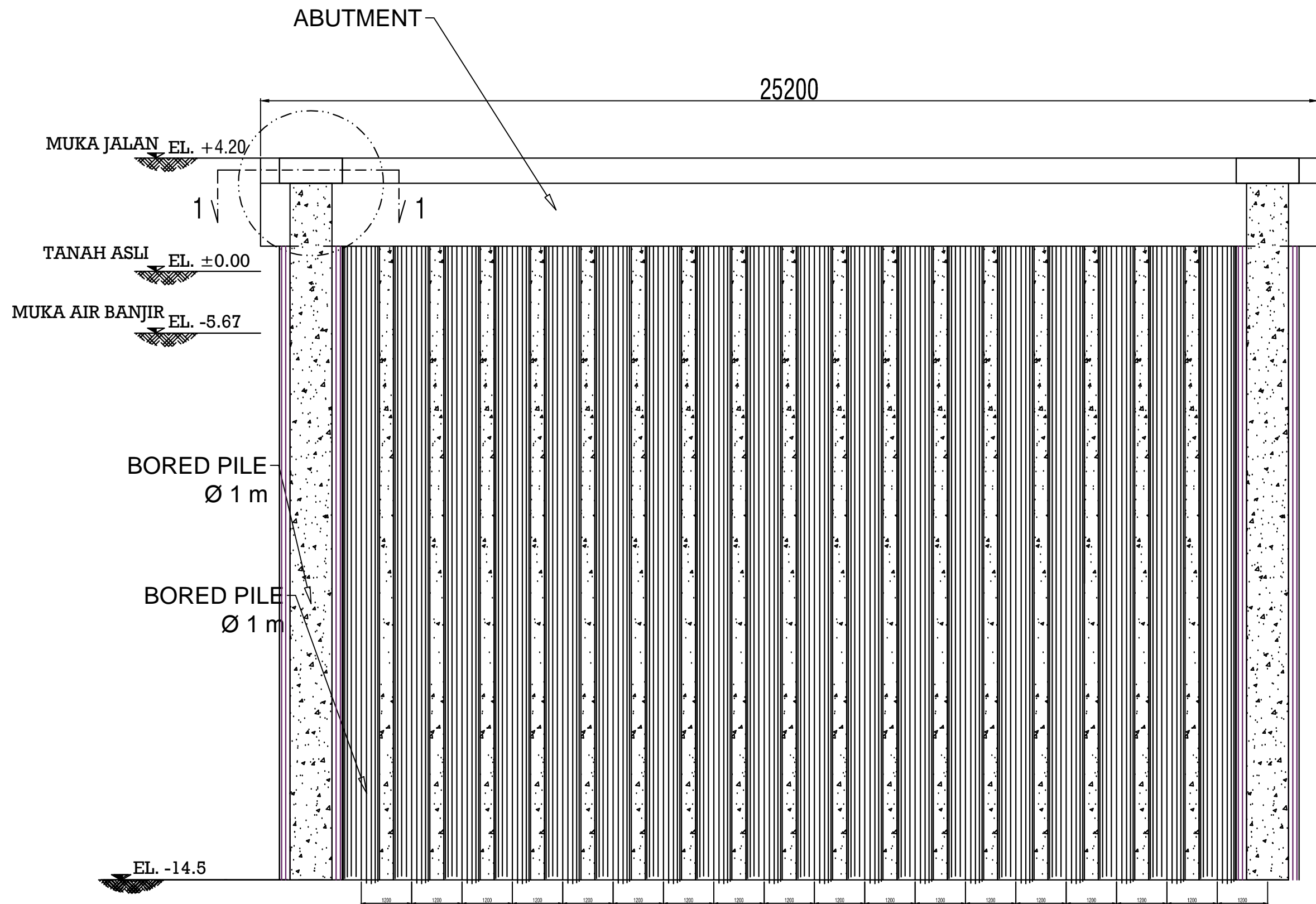
DETAIL 1-1



DETAIL PENULANGAN BARRIER
SKALA 1:25

SECTION 1-1

SECTION 2-2



POTONGAN ABUTMENT (SECANT PILE-U)

SKALA 1:25



Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN
KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN
TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1
KABUPATEN MAGETAN

Nama Gambar

POTONGAN
CAPPING

Skala

1:100

Dosen Pembimbing I

Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS
19600105198603 1 003

Dosen Pembimbing II

Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO
19550319198403 1 001

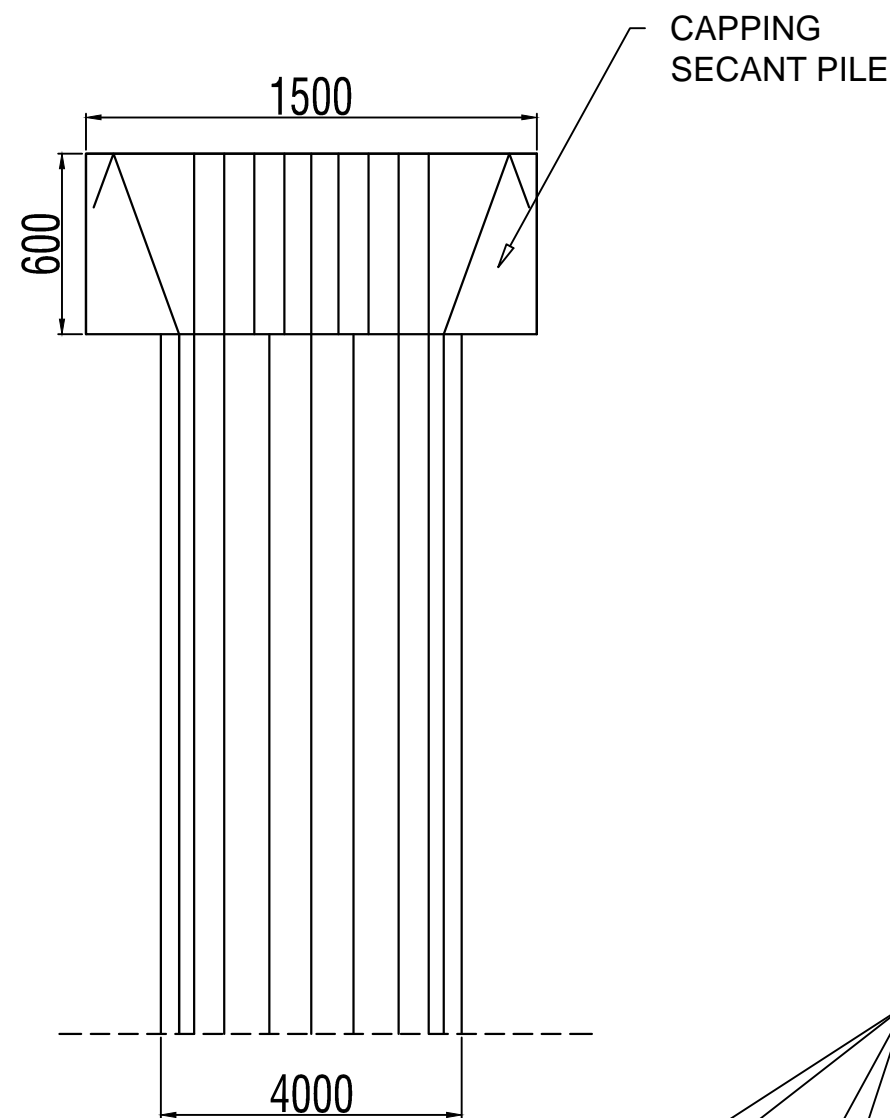
Nama Mahasiswa

MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ
3114030161
DENI MAULANA
3114030162

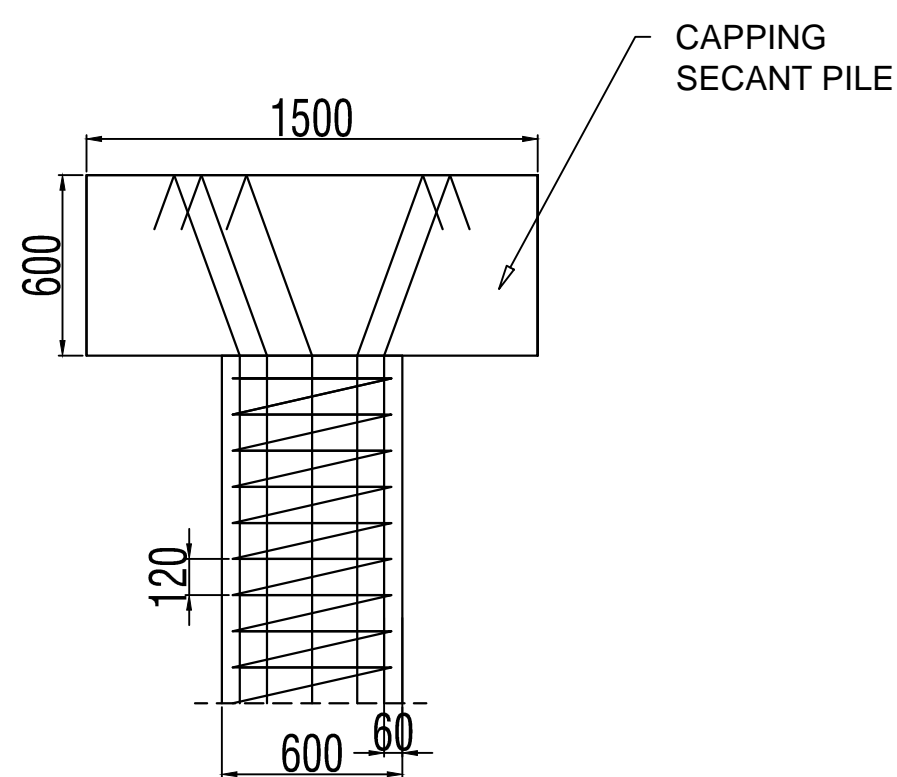
No.

29

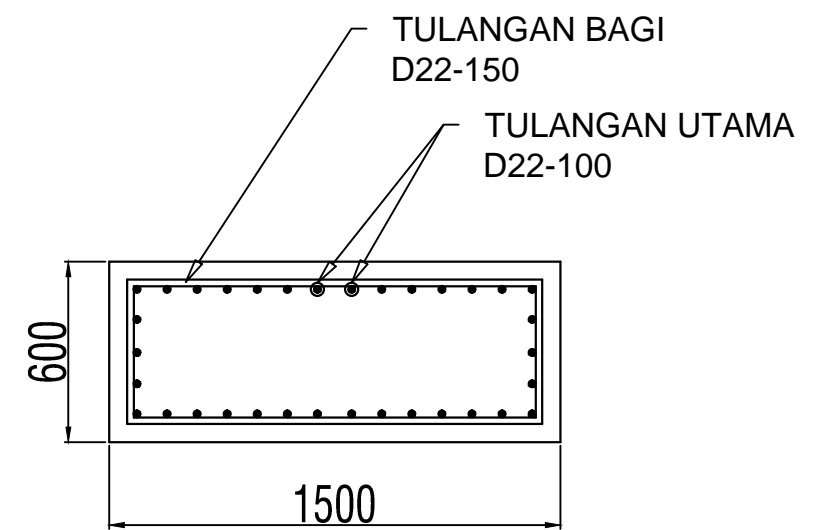
Ket



DETAIL SECANT PILE Ø 1 m
SKALA 1:25

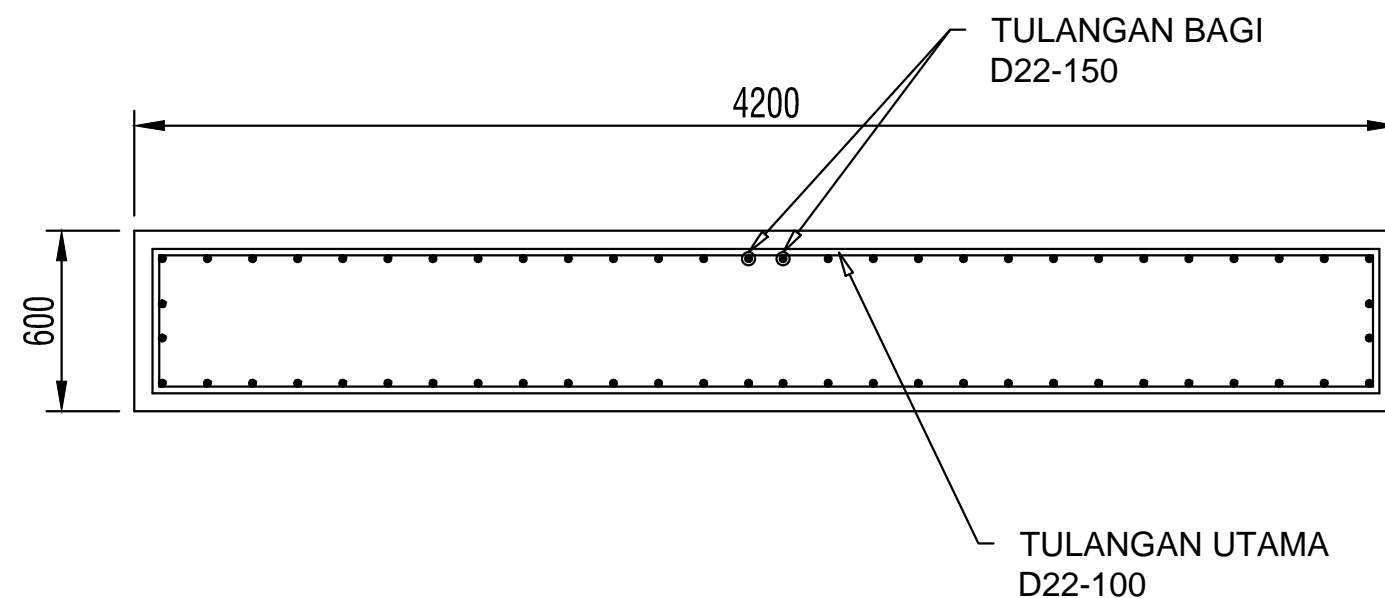
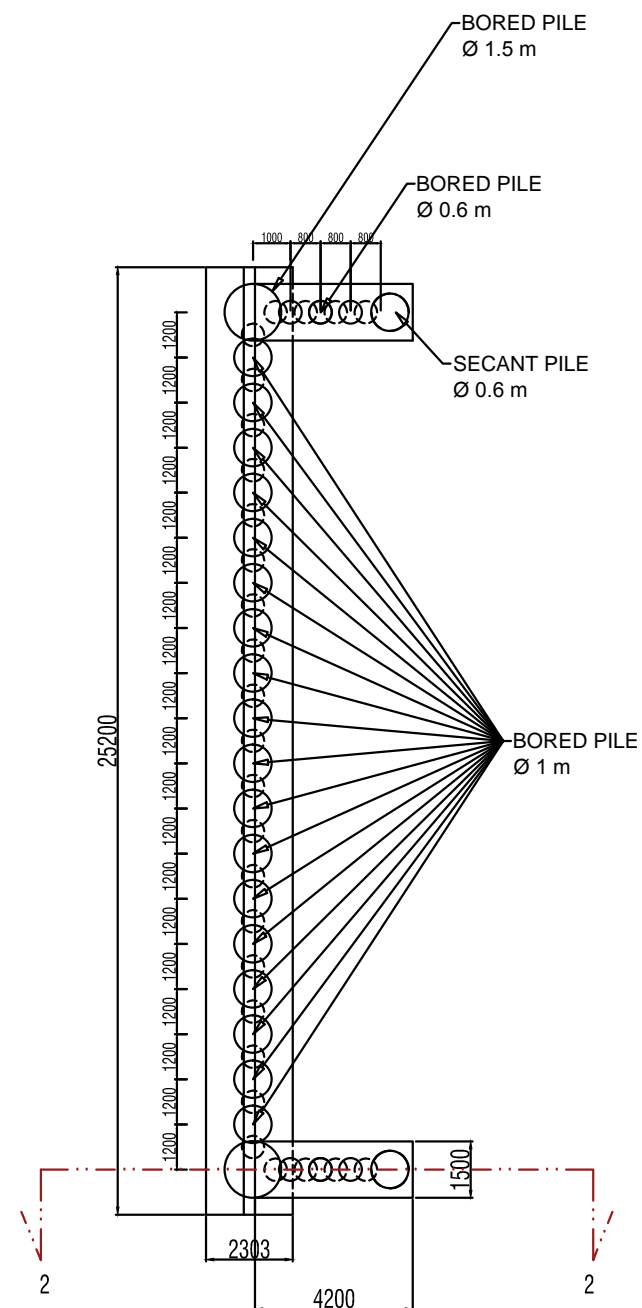


DETAIL SECANT PILE Ø 0.6 m
SKALA 1:25



SECTION 1-1

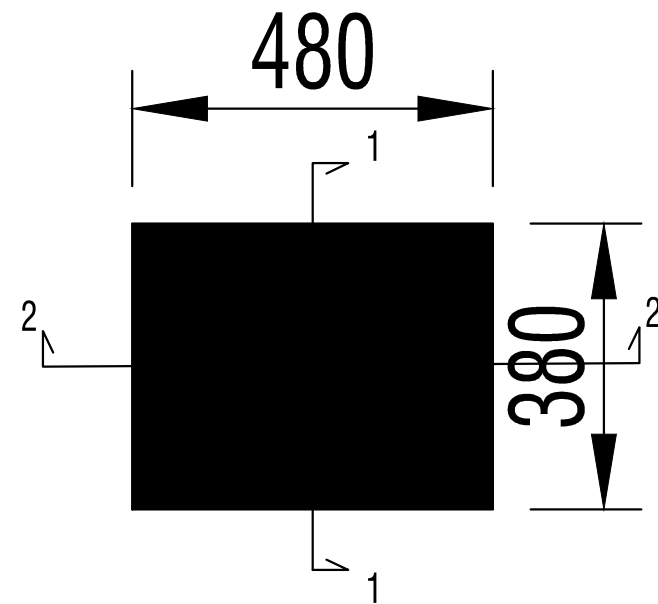
DETAIL PENULANGAN CAPPING
SKALA 1:25



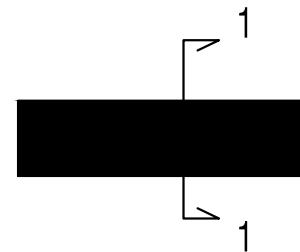
DETAIL 2-2



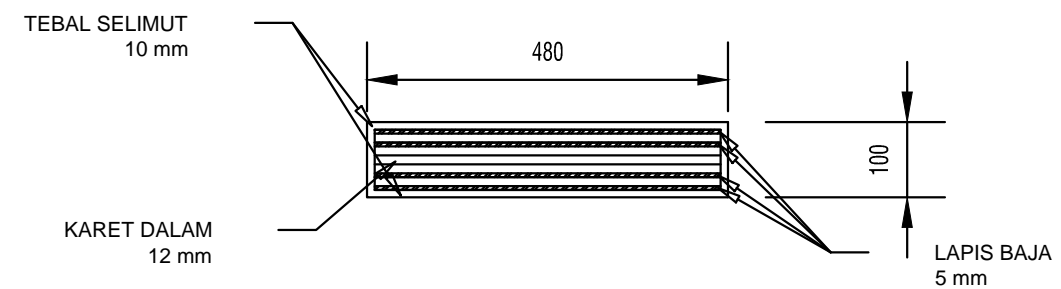
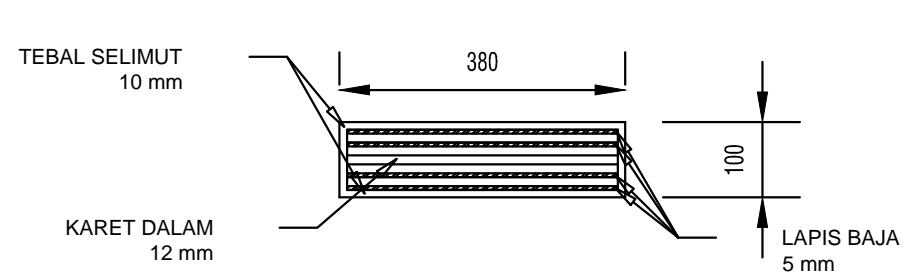
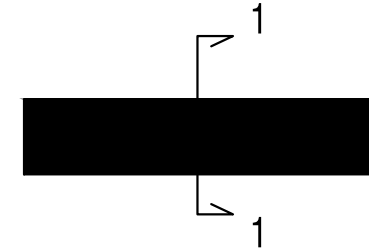
DETAIL POTONGAN CAPPING MEMANJANG
SKALA 1:25



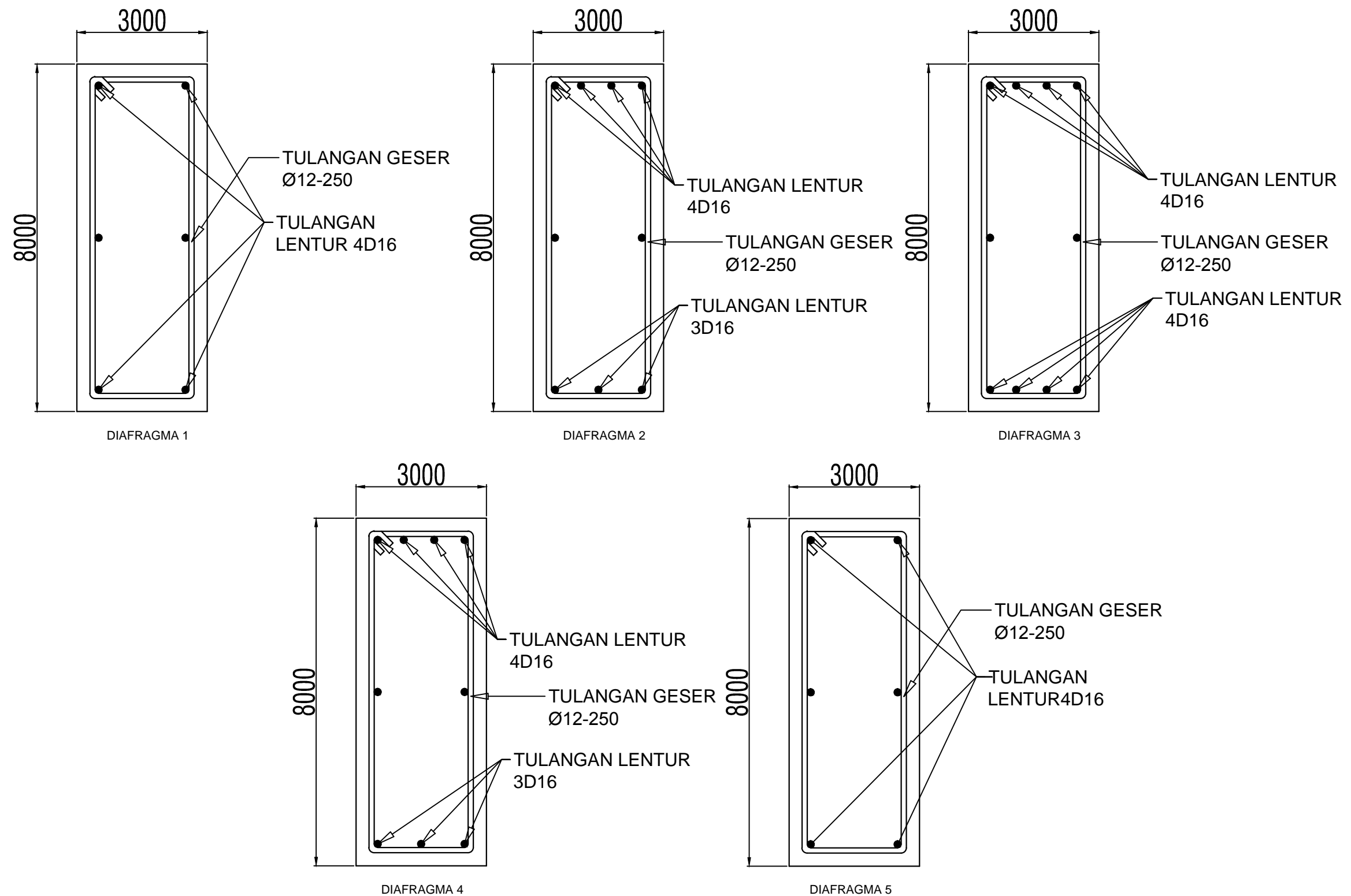
DETAIL 1-1




DETAIL 2-2



 **DETAIL ELASTOMER**
SKALA 1:10

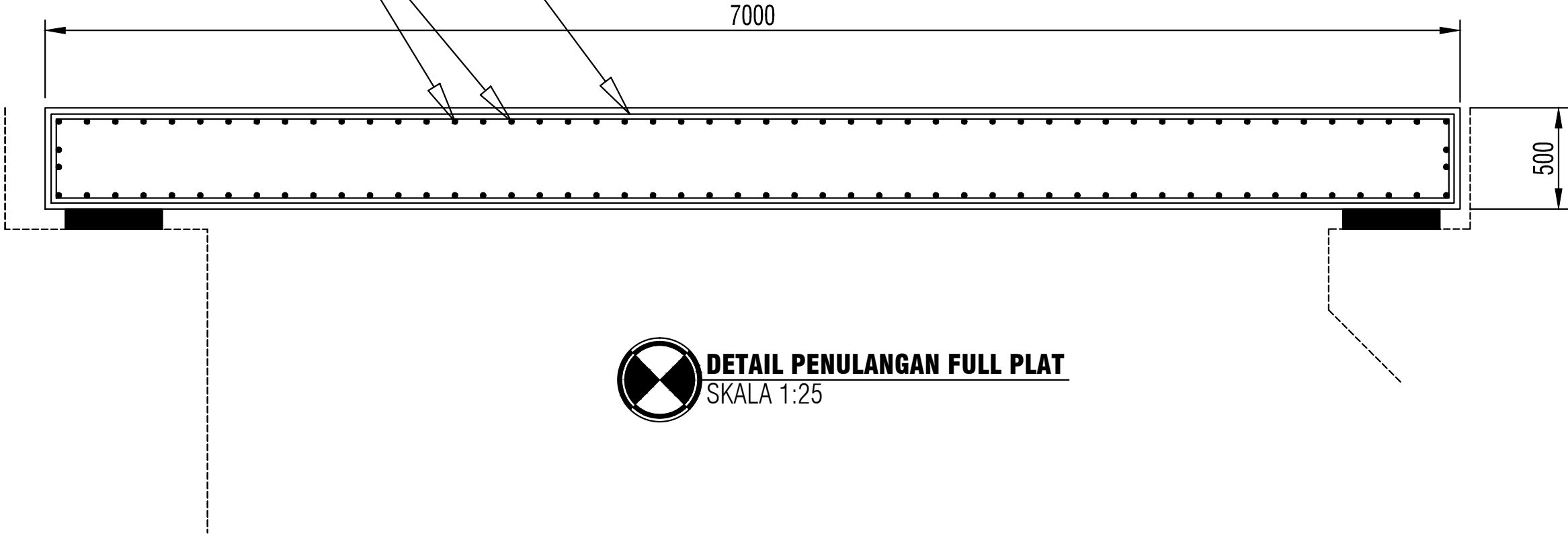


DETAIL DIAFRAGMA
SKALA 1:10

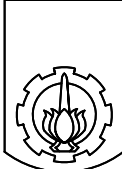
 <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Nama Mahasiswa	No.	Ket
	MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN	DETAIL DIAFRAGMA	1:10	Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS 19600105198603 1 003	Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO 19550319198403 1 001	MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ 3114030161 DENI MAULANA 3114030162	33	

TULANGAN UTAMA
D25-150

TULANGAN BAGI
D25-140



 **DETAIL PENULANGAN FULL PLAT**
SKALA 1:25

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II	Nama Mahasiswa	No.	Ket
	MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KARTOHARJO STA 102+678 PADA RUAS JALAN TOL - SOLO KERTOSONO PAKET NK1 KABUPATEN MAGETAN	DETAIL PENULANGAN FULL PLAT	1:25	Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS 19600105198603 1 003	Ir. CHOMAEDHI, CES., GEO 19550319198403 1 001	MUHAMMAD DIFAA' UL HAQ 3114030161 DENI MAULANA 3114030162	34	